Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Combinação de doses de potássio e magnésio na produção e nutrição mineral
do capim-Tanzânia**

Dylnei Consolmagno Neto

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição
de Plantas.

Piracicaba
2006

Dylnei Consolmagno Neto
Engenheiro Agrônomo

**Combinação de doses de potássio e magnésio na produção e nutrição mineral do capim-
Tanzânia**

Orientador:
Prof. Dr. **FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição
de Plantas.

**Piracicaba
2006**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Consolmagno Neto, Dylnei

Combinação de doses de potássio e magnésio na produção e nutrição mineral do capim-Tanzânia / Dylnei Consolmagno Neto. - - Piracicaba, 2006.
82 p.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Capim Tanzânia 2. Gramínea forrageira 3. Macronutriente 4. Raiz 5. Solução nutritiva
I. Título

CDD 633.2

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

A **Deus**, pela saúde.

Aos meus pais Dylnei Consolmagno Jr. e Maria de Lourdes Monteiro pelo apoio e incentivo durante toda minha vida,

AGRADEÇO

Aos meus avós Dylnei, Edméia, João e Margarida, pela estrutura familiar, carinho e apoio,

OFEREÇO

A minha namorada Ana Carolina, pela compreensão e colaboração,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Meu sincero agradecimento ao professor Dr. Francisco Antonio Monteiro, pela sua paciência, amizade, confiança, orientação e apoio desde a minha graduação;

Aos professores da Pós-Graduação, em especial aos professores Dr. Antônio Roque Dechen e Dr. Quirino Augusto de Camargo Carmello pela amizade, atenção, conhecimentos transmitidos e colaboração na minha formação;

Aos funcionários do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas: Ednéia Mondoni, Lúcia Forti, Lurdes González, Nancy Amaral, Nivanda Ruiz e Sueli Bovi, pela amizade e apoio na realização dessa dissertação;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro e institucional prestado para realização deste trabalho;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela realização do curso;

Aos amigos da Pós-Graduação, pela ajuda e grande amizade desenvolvida: Cristiane Prezotto Silveira, Edna Maria Bonfim da Silva, Fabiano De Bona, Gilberto Nava, Gilmar Nachtigall, Gláucia Anti, Haroldo Hoogerheide, Jackson Locks Lange, João de Deus Gomes dos Santos Júnior, Jorge Henrique dos Santos, José Olímpio Souza Júnior, Karina Batista, Luciana Bertolotti, Simeire Aparecida Manarin e Suzana Pereira de Melo;

Aos estagiários da Nutrição Mineral de Plantas Caroline Serrano, Heloiza Silva, João Gabriel Toaliari, Luiz Palermo, Larissa Marcondes, Paulo Hartmann, Renata Kairof, Rodrigo Fernandes, Soraya Pires e em especial a Daniel Mafredini pela amizade e colaboração na condução do experimento;

Aos amigos da República Boi Babão pelo apoio, união fraterna, colaboração e momentos de descontração.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Capim-Tanzânia	11
2.2 Potássio em gramíneas forrageiras	12
2.3 Magnésio em gramíneas forrageiras.....	14
2.4 Interação entre potássio e magnésio em plantas	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Local do experimento, espécie e época	19
3.2 Instalação e condução do experimento.....	19
3.3 Soluções nutritivas.....	20
3.4 Contagem de perfilhos e folhas	21
3.5 Leitura SPAD	21
3.6 Determinação da concentração de clorofila.....	22
3.7 Colheita e separação das partes da planta.....	22
3.8 Área foliar.....	23
3.9 Secagem, pesagem e moagem do material vegetal.....	23
3.10 Medições radiculares	23
3.11 Determinação da concentração de nutrientes	23
3.12 Concentração conjunta de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea.....	24
3.13 Análises estatísticas	24

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Número de perfilhos e folhas	24
4.2 Unidades SPAD.....	29
4.3 Concentração de clorofila total.....	31
4.4 Área foliar.....	33
4.5 Produção de massa seca.....	37
4.5.1 Massa seca da parte aérea.....	37
4.5.2 Massa seca de raízes	41
4.6 Comprimento e superfície radicular	43
4.6 Comprimento e superfície radicular específicos	45
4.8 Concentração de nutrientes nas lâminas de folhas recém-expandidas	47
4.8.1 Potássio.....	47
4.8.2 Magnésio	50
4.8.3 Cálcio.....	54
4.8.4 Cobre	57
4.8.5 Ferro	58
4.8.6 Manganês.....	60
4.8.7 Zinco.....	62
4.9 Concentração conjunta de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea.....	64
4.10 Sintomas visuais	68
5 CONCLUSÕES	73
REFERÊNCIAS	74

RESUMO

Combinação de doses de potássio e magnésio na produção e nutrição mineral do capim-Tanzânia

A utilização do capim-Tanzânia tem sido crescente nas pastagens brasileiras e há nítida demanda de maior conhecimento sobre as necessidades nutricionais dessa forrageira, com o intuito de se obter mais altas produtividades. O objetivo desta pesquisa foi de obter informações desse capim no que diz respeito à relação entre os nutrientes potássio e magnésio, através da avaliação do número de perfilhos e de folhas, área foliar, produção de massa da parte aérea e das raízes, superfície e comprimento radicular, leitura SPAD, teor de clorofila nas folhas e concentrações dos macronutrientes catiônicos nos tecidos das plantas e caracterização de sintomas visuais. Foi conduzido um experimento em casa-de-vegetação, com solução nutritiva, em vasos de 3,6 L tendo sílica moída como substrato, no período de setembro a novembro de 2004, em Piracicaba-SP. Utilizou-se o esquema fatorial 5^2 incompleto, perfazendo um total de 13 combinações de doses de potássio e de magnésio, em mmol L^{-1} : 0,4K/0,05Mg; 0,4K/1,35Mg; 0,4K/2,65Mg; 3,2K/0,7Mg; 3,2K/2Mg; 6K/0,05Mg; 6K/1,35Mg; 6K/2,65Mg; 8,8K/0,7 Mg; 8,8K/2Mg; 11,6K/0,05Mg; 11,6K/1,35Mg; 11,6K/2,65Mg, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições. O primeiro corte das plantas foi realizado 46 dias após o transplante das mudas e o segundo 28 dias após o primeiro. Em ambos os cortes a parte aérea das plantas foi separada em folhas emergentes, lâminas de folhas recém-expandidas, lâminas de folhas maduras e colmos mais bainhas. Após o segundo corte realizou-se também a separação das raízes, utilizando-se água corrente e peneiras de 0,25 e 1,00 mm. As combinações de doses de potássio e de magnésio foram determinantes para a proporção de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea nos dois períodos de crescimento, para comprimento e massa radicular e, somente no segundo crescimento, para produção da parte aérea e para as concentrações de cálcio e de manganês nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim. De forma isolada as doses de potássio alteraram o número de perfilhos e de folhas, a área foliar e a concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas nos dois crescimentos, enquanto influenciaram, no primeiro crescimento, a produção da parte aérea e as concentrações de cálcio, cobre, ferro e manganês nas folhas diagnósticas, além de promover alteração na superfície radicular. As doses de magnésio, isoladamente, fizeram variar o valor SPAD e a concentração de clorofila nos dois crescimentos, e no segundo crescimento, têm influência na área foliar, na superfície radicular e nas concentrações de cobre, ferro e zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas da gramínea. As máximas respostas do capim-Tanzânia ocorreram com fornecimento de potássio na solução nutritiva entre 8,4 e 10,9 mmol L^{-1} e o de magnésio entre 1,7 e 2,3 mmol L^{-1} , e com participação do potássio entre 53 e 64 % e do magnésio ao redor de 20 % na concentração total de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea das plantas. Sintomas visuais das deficiências de potássio e de magnésio nas plantas somente foram observados com baixos suprimentos desses nutrientes.

Palavras-chave: antagonismo, gramínea forrageira, macronutrientes, *Panicum maximum*, raízes, solução nutritiva

ABSTRACT

Potassium and magnesium rates combinations for Tanzania grass production and mineral nutrition

Tanzânia grass use in Brazilian pastures has been improved, and there is a need for more knowledge on its mineral nutrition in order to increase forage productivity. The objective of this research was to obtain information for this grass related to the combined supply of potassium and magnesium, through the evaluation of number of tillers and leaves, leaf area, plant tops and roots dry matter production, roots length and surface, SPAD value, leaf chlorophyll concentration, cationic macronutrients concentrations in plant tissues and visual symptoms characterization. An experiment was carried out in a greenhouse by using nutrient solution in 3.6 L pots containing ground quartz, from September to November 2004, at Piracicaba, São Paulo State, Brasil. An incomplete 5^2 factorial was used, which resulted in 13 combinations among potassium and magnesium rates, in mmol L^{-1} : 0,4K/0,05Mg; 0,4K/1,35Mg; 0,4K/2,65Mg; 3,2K/0,7Mg; 3,2K/2Mg; 6K/0,05Mg; 6K/1,35Mg; 6K/2,65Mg; 8,8K/0,7 Mg; 8,8K/2Mg; 11,6K/0,05Mg; 11,6K/1,35Mg; 11,6K/2,65Mg, in a randomized block design, with four replications. Plants were first harvested 46 days after seedlings transplanting to the pots, and harvested again 28 days after the first harvest. At each harvest plants tops were separated into emergent leaves, newly expanded leaf laminae, mature leaf laminae and culms plus sheaths. After the second harvest the roots were collected by passing tap water through 0.25 and 1.00 mm screens. Potassium and magnesium rates combinations highly influenced the proportion of potassium, magnesium and calcium in plant tops in both growth periods, and the roots dry weight and length. These nutrients rates combinations also determined forage yield and concentrations of calcium and manganese in the newly expanded leaf laminae at the second harvest. Potassium rates significantly changed the number of tillers and leaves, leaf area, and zinc concentration in the newly expanded leaves at both growth periods, whereas in the first growth influenced forage yield, concentrations of calcium, copper, iron and manganese in the newly expanded leaf laminae, and in the root surface. Magnesium rates resulted in changes in SPAD values and chlorophyll concentrations in the two plant growths but, at second growth, promoted changes in leaf area, in root surface, and in concentrations of copper, iron and zinc in the newly expanded leaf laminae. Maximum responses of Tanzania grass were found when potassium was supplied between 8.4 and 10.9 mmol L^{-1} and magnesium between 1.7 and 2.3 mmol L^{-1} and when potassium contributed between 53 and 64 % and magnesium about 20 % to the total concentration of potassium, magnesium and calcium in plants tops. Visual symptoms of potassium and magnesium deficiencies in the plants were only observed with low rates supply of these nutrients.

Keywords: antagonism, forage grass, macronutrients, nutrient solution, *Panicum maximum*, roots

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande destaque no cenário mundial, por ser atualmente o maior exportador de carne bovina e apresentar o maior rebanho comercial do mundo. Nesse contexto as pastagens tornam-se indispensáveis, pois são a principal fonte de alimentação dos bovinos e também a de menor custo. Porém, nos anos mais recentes ocorreram reduções das áreas de pastagens devido à baixa lucratividade atrelada ao mau manejo e ausência de reposição nutricional.

A espécie *Panicum maximum* Jacq. é originária da África Tropical e tem grande importância no cenário brasileiro, sendo bem adaptada a solos profundos, bem drenados e com fertilidade de média a elevada. Por essa razão, grande parte dos estudos envolvendo novos cultivares de forrageiras está sendo direcionada a essa espécie. Também é de grande importância o avanço sobre a nutrição mineral dessas gramíneas, com o intuito de suprir suas necessidades em nutrientes e permitir que expressem todo seu potencial de produtivo.

O capim-Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) foi lançado pela Embrapa e liberado aos produtores em 1990, e atualmente é um dos cultivares dessa espécie mais utilizados na formação de pastagens no Brasil. Apresenta, como característica marcante, relativa tolerância à seca e ao frio, mantendo nessas condições adversas maior proporção de folhas verdes, maior produção de massa seca total e conseqüentemente maior taxa de lotação das pastagens do que outras gramíneas forrageiras.

A adequada nutrição mineral das plantas forrageiras é um requisito básico para o bom desenvolvimento das pastagens, de forma a elevar a produção de massa seca por unidade de área, melhorar e conseqüentemente aumentar a disponibilidade de alimentos para a nutrição dos animais que delas se alimentam.

Apesar do grande potencial produtivo das forrageiras, observa-se que a produção de massa seca, o valor nutritivo, a taxa de lotação e a produtividade animal apresentada pela pecuária brasileira são muito inferiores aos que poderiam ser obtidos. O aumento da eficiência de produção deve-se em grande parte à nutrição adequada dessas pastagens.

O potássio é absorvido na forma catiônica, por processo ativo, e suas principais funções no metabolismo vegetal são: ativação de enzimas, síntese protéica, manutenção do potencial osmótico de células e tecidos, participação na fotossíntese, translocação de carboidratos assimilados e aumentar a resistência da planta ao frio e a doenças. Ao lado do nitrogênio, é um

nutriente requerido em alta quantidade pelas gramíneas forrageiras. Possui alta mobilidade no interior da planta, de tal forma que seus sintomas são observados primeiro nas folhas maduras.

O magnésio é absorvido como cátion divalente e participa da molécula de clorofila, estando intimamente ligado ao processo fotossintético da planta. A sua escassez causa redução na taxa de fotossíntese, resultando em menor produção de massa seca por unidade de área. Caracteriza-se por alta mobilidade no interior da planta, sendo seu sintoma de deficiência observado inicialmente nas lâminas maduras, com aumento da taxa de degradação de proteínas e redução na concentração de clorofila.

A interferência da absorção de potássio na do magnésio é conhecida como antagonismo, sendo a absorção de magnésio fortemente reduzida por potássio e amônio. Esse problema se torna mais sério quando a quantidade de magnésio disponível à planta é muito baixa ou na presença de concentração elevada de potássio no substrato. Quando o suprimento de potássio é abundante é comum ocorrer não somente interferência na absorção de magnésio, como também na disponibilidade fisiológica desse nutriente.

Sabendo-se da necessidade desses dois nutrientes para o desenvolvimento das plantas e das relações antagônicas entre a absorção do potássio e do magnésio torna-se evidente a necessidade de estudos mais aprofundados sobre essa relação nas plantas cultivadas e particularmente nas forrageiras.

Baseado nesse contexto é que se enquadra a hipótese de que o antagonismo entre o potássio e o magnésio provoca alterações fisiológicas, nutricionais e produtivas no capim-Tanzânia.

Objetivou-se nesse trabalho obter informações para o capim-Tanzânia, no que diz respeito à relação entre os nutrientes potássio e magnésio, por meio da avaliação do surgimento de perfilhos, do aparecimento de folhas, da área foliar, da produção de massa da parte aérea e das raízes, da superfície e comprimento radicular, da obtenção de sintomas visuais, da leitura SPAD, da determinação da concentração de clorofila nas folhas e das concentrações dos nutrientes catiônicos nos tecidos das plantas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Capim-Tanzânia

O capim-Tanzânia pertence à família Gramínea, é de origem africana, apresentando aproximadamente 81 gêneros e mais de 1460 espécies. O *Panicum maximum* Jacq. foi introduzido nas Américas provavelmente no fim do século XVIII, através dos navios que transportavam escravos, e daí se espalhou devido à sua alta produtividade, palatabilidade e boa persistência (ARONOVICH, 1995).

A espécie *Panicum maximum* Jacq., cujo cultivar mais antigo é o capim-Colonião, foi a forrageira mais utilizada no Brasil na década de 1970 e posteriormente foi substituída pelas Braquiárias, as quais são menos exigentes em fertilidade de solo (NASCIMENTO; RENVOIZE, 2001). Além do Colonião surgiram outros cultivares como Guiné, Green Panic, Makueni, Sempre-Verde e Touceira que são mais antigos, e recentemente os cultivares Centenário, Tobiatã, Vencedor, Aruana, Mombaça e Tanzânia. O cultivar Tanzânia da espécie *Panicum maximum* foi lançado comercialmente em 1990 pela Embrapa Gado de Corte (JANK, 1994) e registrado como BRA 007218.

Na busca por cultivares de maior produtividade, valor nutricional, facilidade de manejo, além de mais adaptados a solos de média fertilidade surgiu o interesse pelo uso de novos cultivares de *Panicum maximum*, como o Tanzânia, Tobiatã e Mombaça (EUCLIDES; EUCLIDES FILHO, 1997).

O capim-Tanzânia é uma planta cespitosa e de folhas decumbentes, com largura média de 2,6 cm. Os colmos são levemente arroxeados e as inflorescências são do tipo panícula, com ramificações primárias e secundárias longas apenas na base (SAVIDAN; JANK; COSTA, 1990).

Segundo Vieira (1993), o cultivar Tanzânia apresenta boa aceitabilidade pelos animais, com ganhos elevados de peso e aumento relativo da taxa de lotação da pastagem e, quando bem adubado e manejado, apresenta boa produção de massa seca e boa cobertura do solo.

Aronovich (1995) afirmou que, entre os cultivares da espécie *Panicum maximum*, o plantio do capim-Tanzânia tem sido estimulado por suas excelentes características agrônômicas e de consumo pelos animais.

2.2 Potássio em gramíneas forrageiras

O potássio é o mais abundante cátion presente no citoplasma das células vegetais e ocupa o segundo lugar em quantidade extraída pelas plantas, participando da translocação dos carboidratos sintetizados, no processo fotossintético, da síntese protéica, da ativação enzimática, sendo que em casos de deficiência algumas plantas passam a acumular carboidratos solúveis e reduzem o acúmulo de amido e compostos nitrogenados. É absorvido na forma de K^+ , não sofrendo alterações em sua forma no interior das plantas e caracteriza-se por alta mobilidade dentro de células, tecidos e longas distâncias, como floema e xilema (MARSCHNER, 1995).

Segundo Braga (1996), o potássio está relacionado com processos bioquímicos no metabolismo de carboidratos, síntese de proteínas e de açúcares, além da translocação e armazenamento de açúcares. Está relacionado com praticamente todas as funções fisiológicas da planta (COELHO; VERLENGIA, 1973).

Trabalhando com adubação nitrogenada e potássica em capim-Colonião com cortes mecânicos, Vicente-Chandler et al. (1962) observaram incremento na produção de massa seca até a dose de potássio de 440 kg ha^{-1} , quando utilizaram adubação elevada de nitrogênio.

Em experimento com solução nutritiva completa e omissão de nutrientes, França e Haag (1985) verificaram que, na omissão de potássio, o capim-Tobiatã apresentou menor número de perfilhos e redução na produção de massa seca em relação ao tratamento completo.

Ferrari Neto (1991), utilizando a técnica do elemento faltante, verificou que a produção de massa seca dos capins Braquiária (*Brachiaria decumbens*) e Colonião (*Panicum maximum*) foi influenciada pelo potássio, com a omissão desse nutriente resultando em produção de 30% daquela do tratamento completo.

Buscando avaliar a influência das adubações nitrogenada e potássica em capim-Setária (*Setaria anceps* cv. Kazungula), Herling et al. (1991) conseguiram incrementos na produção de massa seca com as doses de potássio, mesmo sem interferência no perfilhamento da planta.

Cultivando *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes, Monteiro et al. (1995) constataram que na omissão de potássio, a concentração desse nutriente na parte aérea era de $4,3 \text{ g kg}^{-1}$ e nas raízes de $3,6 \text{ g kg}^{-1}$, as quais foram mais baixas daquelas do tratamento completo que atingiram $28,0$ e $25,0 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

Silva et al. (1995), em estudos com sete doses de potássio (0; 9,75; 39; 78; 156; 234 e 312 mg L⁻¹ ou seja, 0; 0,25; 1; 2; 4; 6 e 8 mmol L⁻¹) no capim-Tanzânia, verificaram respostas positivas às doses de potássio para a produção de massa seca de lâminas de folhas maduras, de lâminas de folhas recém-expandidas, de colmos mais bainhas, de massa seca da parte aérea e de perfilhamento do capim.

Em experimento com doses de potássio em *Panicum maximum* cv. Colonião e *Brachiaria decumbens*, incrementos significativos na produção de massa seca da parte aérea foram relatados por Faquin et al. (1995), em cada um e no total dos dois cortes. No total dos cortes, a produção de massa seca em função das doses de potássio aumentou em quase quatro vezes no capim-Braquiária e em quase cinco vezes no capim-Colonião em relação à não aplicação desse nutriente. As doses de potássio não promoveram diferenças no perfilhamento do capim-Colonião, enquanto essa significância foi verificada no capim-Braquiária.

Mattos (1997) conduziu dois experimentos em casa-de-vegetação com solução nutritiva, avaliando a diagnose nutricional de potássio em *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Verificou que o incremento de potássio na solução proporcionou aumentos na produção de massa seca da parte aérea, das raízes, no perfilhamento e na concentração de potássio nos componentes da parte aérea e nas raízes das duas espécies. Também constatou que o nível crítico de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas da *Brachiaria decumbens* foi de 23 e 20 g kg⁻¹, no primeiro e segundo crescimentos.

Segundo Pereira (2001), na ausência de potássio na solução nutritiva ocorreu redução na produção de massa seca da parte aérea no primeiro crescimento e não houve sequer rebrota das plantas após o primeiro corte do capim-Mombaça.

Em experimento com doses de fósforo (0, 10, 20, e 39 kg ha⁻¹) e potássio (0, 23, 46 e 93 kg ha⁻¹) em capim-Estrela (*Cynodon nlemfuensis* var. *nlemfuensis*), Pant, Mislevy e Rechcigl (2004) observaram que após frio severo a variação de fechamento da área foi de 3 para 93% nas doses de potássio de 0 a 93 kg ha⁻¹, além de elevada correlação entre o fechamento da área e a concentração de potássio no tecido da planta. Concluíram que o suprimento de potássio é fundamental para tolerância e persistência do capim-Estrela durante o inverno, nas regiões subtropicais.

Embora nem sempre o potássio tenha apresentado efeitos marcantes na produção de massa seca, sua aplicação em áreas de exploração intensiva de pastagem é indispensável (MESA;

MENDOZA; AVILA, 1989). Estudos realizados por Vicente-Chandler et al. (1962), França e Haag (1985), Silva et al. (1995), Benetti e Monteiro (1999), Pereira (2001) e Lavres Júnior (2001) demonstraram que a produção de massa seca do *Panicum maximum* foi incrementada com o fornecimento de potássio.

Gramíneas forrageiras deficientes em potássio apresentam folhas pouco desenvolvidas, colmos finos, raquíuticos e são pouco resistentes ao tombamento, podendo ocorrer clorose e necrose nas pontas e nas margens das folhas, em casos de grave deficiência, reduzindo a produtividade da forrageira (WERNER, 1986) e aumentando a susceptibilidade a danos por frio e doenças (MARSCHNER, 1995).

2.3 Magnésio em gramíneas forrageiras

O papel mais conhecido do magnésio em plantas relaciona-se à ocorrência como elemento central da molécula de clorofila. Porém, apenas de 15 a 20% do total de magnésio presente na planta está relacionado com esta função (MENGEL; KIRKBY, 2001).

Malavolta (1980) afirmou que o magnésio ativa mais enzimas do que qualquer outro nutriente. É também cofator de quase todas as enzimas fosforiladas, formando uma ponte entre o pirofosfato do trifosfato de adenosina (ATP) ou do difosfato de adenosina (ADP) e a molécula da enzima. A transferência de energia desses dois compostos é fundamental nos processos de fotossíntese, respiração, reação de síntese dos compostos orgânicos, absorção iônica e trabalho mecânico realizado pela planta.

O requerimento de magnésio para ótimo crescimento da planta é de 1,5 a 3,5 g kg⁻¹ da massa seca das partes vegetais. Na deficiência de magnésio ocorre translocação desse nutriente das folhas maduras para as mais jovens, de tal forma que sintomas visuais são observados primeiramente nas folhas maduras. Os sintomas de deficiência aumentam de acordo com a intensidade luminosa a que as folhas são expostas (MARSCHNER, 1995).

Pesquisadores do Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT (1984), trabalhando com pastagens de *Brachiaria humidicola* em degradação, obtiveram aumento na produção de massa seca com aplicação de magnésio de 10 kg ha⁻¹, evidenciando a importância da aplicação de magnésio como nutriente quando não adicionado calcário para correção da acidez do

solo, o qual pode ter em sua composição quantidades suficientes de magnésio para suprir a necessidade das forrageiras.

Segundo Corrêa (1996), há carência de resultados envolvendo emprego do magnésio na adubação, não somente de *Panicum maximum*, mas das forrageiras em geral. Mesmo sem se conhecer as exigências específicas em magnésio pelas culturas, e por vezes ignorando os teores de magnésio no solo e do calcário, a calagem tem sido a principal forma de adição de magnésio ao solo. Assim sendo, os efeitos do fornecimento de magnésio em particular são ainda pouco detalhados, pois normalmente não se distinguem dos efeitos do cálcio ou da redução da acidez do solo (ALMEIDA, 1998).

Skerman e Riveros (1982), ao avaliarem a concentração de magnésio na massa seca de 280 gramíneas forrageiras, verificaram variação nessa concentração de 0,4 a 9,0 g kg⁻¹, com média em torno de 3,6 g kg⁻¹.

Estudando três cultivares de *Panicum maximum*, com doses de nitrogênio (42, 210 e 378 mg L⁻¹, ou seja, 3, 15 e 27 mmol L⁻¹) e de magnésio (4,8 e 48 mg L⁻¹, equivalentes a 0,2 e 2 mmol L⁻¹) em solução nutritiva, Corrêa (1996) obteve incremento da produção de massa seca da parte aérea e das raízes com relação ao magnésio, apenas quando as doses de nitrogênio foram mais elevadas.

Em experimento com doses de magnésio (0; 0,05; 0,15; 0,5; 1,5; 2 e 2,5 mmol L⁻¹) para *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, Sarkis, Frare e Monteiro (1996) constataram que esse nutriente afetou a produção de massa seca das plantas. A variação percentual na produção das lâminas de folhas recém-expandidas foi de 40 a 47% no primeiro corte e de 32 a 35% no segundo corte, quando compararam a omissão com a dose mais elevada de magnésio.

Monteiro et al. (1995) constataram que a omissão de magnésio no cultivo de capim-Marandu (*Brachiaria brizantha*) em solução nutritiva resultou em redução de 45% na produção de massa seca da parte aérea, 70% de raízes e 32% de número de perfilhos, quando comparada ao tratamento completo.

Conduzindo experimento com doses de magnésio e de fósforo em duas braquiárias, Almeida (1998) relatou aumento da produção de massa seca da parte aérea com o fornecimento de doses de magnésio, quando o fósforo foi aplicado em 15,5 mg L⁻¹. As braquiárias também apresentaram grande capacidade de absorção e de acúmulo de magnésio, principalmente quando

se elevou a disponibilidade de fósforo, e as lâminas foliares as principais responsáveis pelo acúmulo desse nutriente.

Em experimentos com variação da saturação por base, para gramíneas forrageiras tropicais, Premazzi (1991) constatou que as concentrações de magnésio e cálcio na parte aérea do capim-Marandu foram de 9,4 e 3,0 g kg⁻¹ no primeiro corte e de 4,7 e 1,3 g kg⁻¹ no segundo corte, respectivamente. Para o capim-Colonião essas concentrações foram de 6,4 e 3,0 g kg⁻¹ no primeiro corte e 4,5 e 2,9 g kg⁻¹ no segundo. Guimarães (2002) relatou que as relações cálcio:magnésio, em dois solos, para *Brachiaria mutica* e *Brachiaria humidicola* oscilaram entre 0,5 e 0,9:1.

De acordo com Pereira (2001), a presença de magnésio na solução nutritiva para cultivo do capim-Mombaça alterou positivamente a leitura do valor SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas, além da massa seca da parte aérea e das raízes, o número de perfilhos e área foliar.

2.4 Interação entre potássio e magnésio em plantas

As relações antagônicas entre os cátions e a influência destes na absorção de potássio pelas plantas depende de alguns fatores, tais como a espécie vegetal e a proporção de outros cátions em relação ao potássio (PIERRE; BOWER, 1943).

Tewari, Sinha e Mandal (1971), em cultivo de ervilhaca (*Vicia sativa*) em solução nutritiva e em mistura de argila e areia, utilizando relações Ca/Mg e Mg/K, observaram que aumentos na relação Ca/Mg causaram decréscimo na absorção de magnésio e potássio pelas plantas. Entretanto, o efeito do potássio foi mais pronunciado em relação à absorção de cálcio e magnésio.

Em experimento realizado por Rosolem, Machado e Brinholi (1984), com objetivo de estudar a resposta do sorgo sacarino (*Sorghum bicolor*) ao magnésio na presença e ausência de calagem e adubação potássica, constataram que os teores de magnésio no solo não foram afetados pela aplicação de potássio, porém a absorção de magnésio pela planta foi influenciada.

Os mecanismos envolvidos no antagonismo entre os cátions cálcio, magnésio e potássio parecem não estar bem explicados, podendo ser um fenômeno que se origina nas raízes ou no transporte destes cátions para a parte aérea das plantas (SOARES, 1975).

Mengel e Kirkby (2001) afirmaram que o transporte de magnésio através do tonoplasto é mediado pela difusão facilitada, ou seja, através de canais específicos para transporte do nutriente. A competição com outros cátions em excesso, principalmente potássio e amônio pode reduzir a absorção de magnésio em razão de competição por cargas negativas do citosol. O resultado dessa redução pode ser a deficiência do nutriente nas plantas.

A interação entre magnésio e potássio costuma ocorrer com maior frequência em culturas que necessitam de grandes quantidades de potássio para obtenção de elevada produção e boa qualidade (RAIJ, 1991).

De maneira geral, o aumento na quantidade absorvida de um cátion pela planta pode resultar em redução na absorção de um outro ou mais cátions. Tanto o potássio pode reduzir a absorção de magnésio, como este pode diminuir a absorção do potássio (SOARES, 1978 e MARSCHNER, 1995). Segundo Mengel e Kirkby (2001), os resultados encontrados em literatura permitem afirmar que a soma total de cátions em uma planta é pouco variável com o incremento no suprimento de um cátion, pois geralmente ocorre redução na proporção dos outros cátions presentes. Este fenômeno de um íon em excesso reduzir a absorção de outros é chamado de antagonismo.

Em experimento realizado durante cinco anos para verificar os efeitos da adubação com potássio e com magnésio em gramínea forrageira, Dejou e Montard (1982) observaram acentuado antagonismo entre esses dois nutrientes, de tal forma que a resposta positiva à adubação com magnésio foi obtida quando não utilizaram juntamente o potássio. Nas doses em que ambos estavam presentes não se observaram respostas positivas à aplicação de magnésio. Segundo Ellis Júnior (1979) e Mayland e Grunes (1979), solos com elevadas quantidades de potássio trocável frequentemente requerem aplicação de doses mais elevadas de magnésio, por meio de fertilizantes, para aumentar a concentração de magnésio na forrageira.

Fonseca e Meurer (1995) conduziram experimento com milho (*Zea mays*) em solução nutritiva, para verificar a relação antagônica entre o potássio e o magnésio. Observaram que o acúmulo de magnésio foi reduzido, tanto nas raízes como na parte aérea das plantas, com o aumento do suprimento de potássio. Sugeriram que este antagonismo esteja relacionado com o processo de absorção dos dois nutrientes pelas raízes das plantas.

A tendência de menor absorção de cálcio e magnésio, como consequência do aumento na absorção de potássio, ou seja, aumento na relação $K/(Ca + Mg)$ devido à maior disponibilidade

de potássio no solo foi observada por Büll (1986), nos três cortes efetuados no capim-Tobiatã (*Panicum maximum*) e na soja-perene (*Neonotonia wightii*).

Ventura (1987), avaliando a influência de doses de potássio, cálcio e magnésio em solução nutritiva no crescimento da soja (*Glycine max*), observou redução na concentração de magnésio nas folhas superiores e nos caules de 6,1 para 4,9 g kg⁻¹ e de 4,7 para 3,2 g kg⁻¹, respectivamente, quando aumentou a dose de potássio na solução de 117 mg L⁻¹ (3 mmol L⁻¹) para 351 mg L⁻¹ (9 mmol L⁻¹). No entanto, a altura das plantas e a massa seca total não foram influenciadas pelas doses de potássio.

Estudando as limitações nutricionais do capim-Colonião, Faquin et al. (1994) constataram interação significativa entre potássio e magnésio. Na omissão de potássio foi encontrada a mais alta concentração de magnésio no tecido (6 g kg⁻¹), enquanto no tratamento completo foi de 3 g kg⁻¹.

Avaliando a adubação potássica na produção de massa seca de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e de *Stylosanthes guianensis* em vários estádios de crescimento e na absorção de potássio, cálcio e magnésio, Rodrigues e Rossiello (1995) detectaram que o incremento nas doses de potássio fez reduzir o acúmulo total de magnésio das plantas. De modo similar, Andrade et al. (2000) verificaram que a concentração de magnésio nas lâminas foliares do capim-Elefante decresceu de 1,9 a 1,0 g kg⁻¹ para as respectivas aplicações de potássio de 16 e 304 kg ha⁻¹.

Almeida e Monteiro (1998), estudando a concentração dos nutrientes magnésio, cálcio e potássio nas lâminas foliares do capim-Braquiária submetida a doses de magnésio, observaram que a concentração de potássio decresceu com o aumento das doses de magnésio fornecidas às plantas através da solução nutritiva.

Analisando a concentração de magnésio nas partes da *Brachiaria decumbens* submetida a doses de potássio, Mattos e Monteiro (1998) relataram que nas doses mais altas de potássio ocorreu redução na concentração de magnésio nas partes das plantas, devendo-se atentar aos efeitos antagônicos entre estes cátions, principalmente quando o suprimento de potássio for elevado.

Assim, foi possível comprovar a existência de antagonismo entre os cátions potássio e magnésio nas plantas e em particular com alguns experimentos envolvendo forrageiras. Dessa forma, entende-se serem necessários mais estudos que elucidem essas interações, principalmente para as gramíneas forrageiras, e que detalhem as interferências nas características morfológicas e

produtivas das plantas, de forma que as adubações possam ser praticadas de forma mais precisa para esses nutrientes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento, espécie e época

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação localizada no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, em Piracicaba, Estado de São Paulo. A espécie vegetal pertencente à família Gramineae, gênero *Panicum*, espécie *Panicum maximum* Jacq., cultivar Tanzânia e foi cultivada entre setembro e dezembro de 2004.

3.2 Instalação e condução do experimento

Com objetivo de obter mudas do capim, sementes foram colocadas para germinar no dia 9 de setembro de 2004 em bandejas plásticas, contendo areia lavada com água desionizada. Quando atingiram a altura aproximada de 3 cm (o que ocorreu aos 14 dias após semeadura) quinze mudas foram transplantadas para cada vaso.

Foram utilizados vasos plásticos de 3,6 litros, contendo sílica como substrato, com grânulos de aproximadamente 3 mm e totalmente livres de impurezas, após múltiplas lavagens com água corrente e desionizada.

Inicialmente cada vaso recebeu solução diluída a 25 % da definitiva para cada combinação de potássio com magnésio, a qual foi utilizada por três dias, quando então ocorreu a substituição pela solução definitiva. A troca de solução ocorreu a cada 14 dias.

Desbastes das plantas foram realizados com objetivo de se deixar cinco plantas homogêneas por vaso, iniciando-se com a retirada de três plantas no primeiro dia, duas em cada um dos segundo, terceiro e quarto dias e uma no quinto dia.

As soluções foram circuladas três vezes ao dia para que houvesse aeração das raízes das plantas e no início da noite foram drenadas para um recipiente, onde permaneceram até a manhã seguinte. O volume de um litro foi completado com água desionizada em cada manhã.

Durante a condução do experimento foi observada e anotada diariamente a temperatura mínima e máxima, no compartimento da casa-de-vegetação, conforme mostrado na figura 1.

Figura 1 - Temperaturas máximas e mínimas na casa-de-vegetação, durante o período experimental

3.3 Soluções nutritivas

Foram utilizadas cinco doses de potássio de 0,4; 3,2; 6,0; 8,8 e 11,6 mmol L⁻¹ e cinco doses de magnésio de 0,05; 0,7; 1,35; 2,0 e 2,65 mmol L⁻¹ na solução nutritiva, combinadas conforme o esquema fatorial 5² fracionado de Littell e Mott (1975) perfazendo um total de 13 combinações (0,4K e 0,05Mg; 0,4K e 1,35Mg; 0,4K e 2,65Mg; 3,2K e 0,7Mg; 3,2K e 2Mg; 6K e 0,05Mg; 6K e 1,35Mg; 6K e 2,65Mg; 8,8K e 0,7 Mg; 8,8K e 2Mg; 11,6K e 0,05Mg; 11,6K e 1,35Mg; 11,6K e 2,65Mg). As soluções foram preparadas a partir da solução de Sarruge (1975), devidamente modificada para atender as doses de potássio e magnésio, como mostrado na tabela 1. Para todas as doses utilizou-se inicialmente (no dia da troca de solução) a proporção de 68,3:31,7 entre N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺, mas com a adição de 3 mmol L⁻¹ de nitrato de amônio, fracionada em dias subsequentes, a proporção final foi de 63,1:36,9 entre N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺.

Nos experimentos realizados por Lavres Júnior (2001), Santos Júnior (2001) e Santos (2003) com gramíneas forrageiras tropicais em solução nutritiva foi observado que a dose de nitrogênio de 15 mmol L⁻¹ (usual da solução de Sarruge) estava abaixo da ideal para a expressão do potencial produtivo dessas plantas. Com base nesses estudos optou-se por adicionar 6

mmol L⁻¹ de nitrogênio a essa concentração usual na solução, na forma de nitrato de amônio, totalizando 21 mmol L⁻¹ desse nutriente. As aplicações foram fracionadas (1 mL de solução de nitrato de amônio com 1 mmol L⁻¹ em cada litro de solução) e realizadas nos dias 6, 8 e 10, a partir do suprimento da solução nutritiva, considerando o dia da troca de solução nutritiva como dia zero.

Tabela 1 - Volumes pipetados das soluções estoque, para o preparo de cada solução, de acordo com as doses de potássio e magnésio empregadas no experimento

Solução estoque **	0,4K 0,05Mg	0,4K 1,35Mg	0,4K 2,65Mg	3,2K 0,70Mg	3,2K 2,00Mg	6,0K 0,05Mg	6,0K 1,35Mg	6,0K 2,65Mg	8,8K 0,70Mg	8,8K 2,00Mg	11,6K 0,05Mg	11,6K 1,35Mg	11,6K 2,65Mg
KH ₂ PO ₄	0,4*	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
NH ₄ H ₂ PO ₄	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
KCl	-	-	-	2,8	2,8	5,6	5,6	5,6	8,4	8,4	11,2	11,2	11,2
Ca(NO ₃) ₂	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MgCl ₂	-	1,3	2,6	0,65	1,95	-	1,3	2,6	0,65	1,95	-	1,3	2,6
MgSO ₄	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
(NH ₄) ₂ SO ₄	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
NH ₄ NO ₃ ***	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25	3,25
Micro-Fe	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Fe-EDTA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

* Volume pipetado em mililitros para cada litro de solução nutritiva;

** Solução estoque com concentração de 1 mol L⁻¹, exceto micronutrientes (H₃BO₃, 2,86; MgCl₂.4H₂O, 1,81; ZnCl₂, 0,10; CuCl₂, 0,01; H₂MoO₄.H₂O, 0,02 g L⁻¹) e Fe-EDTA (26 g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH N, misturado com 24 g de FeSO₄.2H₂O);

*** Volumes na solução final (com nitrogênio de 21 mmol L⁻¹).

3.4 Contagem de perfilhos e folhas

Efetuiu-se a marcação de perfilhos e folhas, respectivamente com anéis plásticos e com tinta inerte. O colmo principal (planta-mãe) também foi incluído na contagem dos perfilhos. Esse procedimento foi realizado no primeiro e no segundo crescimentos das plantas.

3.5 Leitura SPAD

A leitura das unidades SPAD, para avaliação indireta do teor de clorofila, foi realizada no terço médio da primeira lâmina de folha recém-expandida, com auxílio do clorofilômetro SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development), aos 32 dias no primeiro crescimento e 20 dias no segundo crescimento das plantas. O valor para cada unidade experimental foi obtido pela média

entre 15 leituras realizadas em cada vaso, em conformidade com o preconizado por Santos (1997).

3.6 Determinação da concentração de clorofila

A determinação da concentração de clorofila foi efetuada nas lâminas de folhas recém-expandidas mais novas (folha +1), aos 29 dias no primeiro crescimento e 20 dias no segundo crescimento.

Com auxílio de um vasador de rolhas com área de 1 cm², foram coletados cinco discos foliares, em cada vaso, os quais foram acondicionados em papel alumínio e congelados a -80° C. Em seguida, as amostras foram retiradas do congelador e imersas em nitrogênio líquido, macerando-se até formação de pequenas partículas. Adicionaram-se 10 ml de acetona 80%, tamponada em carbonato de potássio, concluindo-se a maceração. Transferiu-se o líquido para tubos de ensaio e realizou-se centrifugação por dois minutos. A leitura de absorbância foi realizada no espectrofotômetro, nos comprimentos de onda de 663,6 e 646,6 e a quantidade total de clorofila foi determinada segundo metodologia de Porra, Thompson e Kriedemann (1989).

3.7 Colheita e separação das partes da planta

O primeiro corte das plantas foi realizado 46 dias após o transplante das mudas e o segundo corte 28 dias após o primeiro. Na ocasião de cada corte, as plantas foram separadas em folhas emergentes (FE), lâminas de folhas recém-expandidas (LR), lâminas de folhas maduras (LM) e colmos + bainhas (CB). Após o segundo corte realizou-se também a separação das raízes do substrato, utilizando água corrente e peneiras de 0,25 e 1,00 mm, para evitar perdas de material. Após a separação, as raízes foram lavadas com água desionizada e foi separada uma amostra, de aproximadamente 20% do total de massa fresca de raízes, para as avaliações das raízes, de acordo com o método apresentado por Rossiello et al. (1995).

3.8 Área foliar

Logo após a separação das partes da planta foi efetuada a determinação da área foliar das folhas em expansão, das lâminas de folhas recém-expandidas e das lâminas de folhas maduras, com auxílio do integrador de área foliar LICOR[®]-3100. A área foliar total foi obtida pela soma das áreas foliares dos três tipos de folhas.

3.9 Secagem, pesagem e moagem do material vegetal

As partes das plantas coletadas na ocasião de cada corte foram secadas em estufa a 65° C, por 72 horas, e em seguida pesadas e moídas em moinho tipo Wiley. Todas as amostras moídas foram colocadas em sacos plásticos identificados e encaminhadas ao laboratório para as determinações químicas.

3.10 Medições radiculares

A fração de raízes separada e guardada em recipientes plásticos com água desionizada foi colorida com solução de violeta genciana a 50 g L⁻¹. Em seguida, essas raízes foram distribuídas sobre transparências, de tal forma a se evitar sobreposição, e foram digitalizadas. As imagens das raízes coloridas e digitalizadas foram submetidas ao aplicativo SIARCS (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo) versão 3.0, para determinar o comprimento e a superfície radiculares, utilizando-se a metodologia recomendada por Crestana et al. (1994). Posteriormente determinou-se a massa das sub-amostras secas e, através de regra de três com a massa total das raízes, obteve-se o comprimento e a superfície total de raízes de cada vaso.

3.11 Determinação da concentração de nutrientes

As concentrações dos cátions potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco em cada fração da parte aérea e das raízes foram determinadas a partir da digestão nítrico-perclórica, conforme metodologia descrita por Sarruge e Haag (1974).

Para determinação de potássio utilizou-se o método de fotometria de chama de emissão, enquanto para cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco empregou-se a espectrofotometria de absorção atômica.

3.12 Concentração conjunta de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea

As concentrações de potássio, magnésio e cálcio, em conjunto, na massa seca da parte aérea do capim-Tanzânia foram calculadas multiplicando-se a concentração pela massa seca de cada parte analisada, obtendo-se o acúmulo de cada nutriente. Em seguida fez-se a soma dos valores dos acúmulos nas partes, dividiu-se pela massa seca total da parte aérea para obter a concentração média de cada nutriente. Esse valor foi multiplicado por 1000 e dividido pelo mol de carga do nutriente (39 para potássio, 20 para cálcio e 12 para magnésio). Para finalizar, efetuou-se a soma das três concentrações para obtenção da concentração total dos três cátions na massa seca da parte aérea, em milimol de carga por quilograma de massa seca ($\text{mmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

3.13 Análises estatísticas

Os resultados foram digitados em planilha eletrônica e as análises estatísticas foram executadas com auxílio do programa “SAS” (SAS Institute, 1999). Inicialmente utilizou-se o teste F e em seguida, nos casos de significância da interação entre doses de potássio e de magnésio, as análises de regressão polinomial (superfície de resposta), por meio do procedimento RSREG. Para as variáveis-resposta nas quais a interação entre o potássio e o magnésio não foi significativa, efetuaram-se as análises de regressão para as doses de cada nutriente. Adotou-se o nível de significância de 5% em todos os casos analisados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Número de perfilhos e folhas

Na análise de variância para o número total de perfilhos e de folhas, computados no primeiro e no segundo crescimento do capim-Tanzânia, verificou-se que a interação entre doses de potássio e magnésio não foi significativa.

Estudando-se os efeitos isolados do suprimento de potássio e de magnésio no perfilhamento do capim-Tanzânia observou-se que houve significância apenas para as doses de potássio, tanto no primeiro como no segundo crescimento do capim. O perfilhamento no primeiro crescimento foi representado por equação de segundo grau (Figura 2) e verificou-se que a dose de potássio $10,8 \text{ mmol L}^{-1}$ proporcionou o máximo perfilhamento. No segundo crescimento, o perfilhamento foi representado por equação de primeiro grau (Figura 3), demonstrando que a dose $11,6 \text{ mmol L}^{-1}$ de potássio não foi suficiente para o capim expressar seu máximo potencial de perfilhamento.

Figura 2 - Número de perfilhos no primeiro crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

O número total de perfilhos foi bem mais elevado no segundo crescimento que no primeiro. Esse fato deve estar relacionado com o maior direcionamento de energia para o estabelecimento da planta no primeiro crescimento, com a formação de um sistema radicular vigoroso. No segundo crescimento a planta já tinha seu sistema radicular bem formado, necessitou de menor quantidade de energia para formação de raízes e aumentou a capacidade de emissão de perfilhos. Outro ponto relevante é que o corte das plantas quebrou a dominância apical, promovendo indução das gemas basais e conseqüentemente aumentando a emissão de perfilhos.

Mattos (1997), conduzindo dois experimentos em casa-de-vegetação com solução nutritiva e avaliando a diagnose nutricional de potássio em *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e

Brachiaria brizantha cv. Marandu, também constatou que o incremento de potássio na solução nutritiva proporcionou aumento no perfilhamento das duas espécies, em dois períodos de crescimento das plantas.

Figura 3 - Número de perfilhos no segundo crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Efeitos significativos de doses de potássio, quanto ao perfilhamento do capim-Mombaça em solução nutritiva, foram verificados por Pereira (2001), tanto no primeiro quanto no segundo crescimento. Naquele experimento, a dose 8 mmol L⁻¹ no primeiro crescimento e a dose 12 mmol L⁻¹ no segundo crescimento proporcionaram os máximos números de perfilhos nas plantas.

Lavres Júnior (2001), estudando os efeitos das adubações nitrogenada e potássica em capim-Mombaça, constatou o maior número de perfilhos com a dose de potássio de 7,5 mmol L⁻¹ no primeiro crescimento e com a dose de potássio de 10,2 mmol L⁻¹ no segundo crescimento. Assim como no presente estudo, o autor também observou número maior de perfilhos no segundo crescimento do capim-Mombaça.

Em estudos com situações independentes, Lavres Júnior (2001) e Pereira (2001) obtiveram dose mais alta de potássio para maximizar perfilhos no segundo crescimento do que no primeiro crescimento do capim-Mombaça.

Os resultados de Faquin et al. (1995), Mattos (1997), Lavres Júnior (2001) e Pereira (2001), quanto ao número de perfilhos, assemelham-se aos encontrados no presente trabalho e confirmam que o suprimento de potássio exerce importante efeito no perfilhamento das gramíneas forrageiras bem supridas com nitrogênio.

A não constatação de significância para as doses de magnésio no número de perfilhos está de acordo com os resultados de Corrêa (1996) com capins do gênero *Panicum* e de Almeida e Monteiro (1998) com duas espécies de *Brachiaria*. Entretanto, isto discorda dos resultados mostrados por Monteiro et al. (1995) em trabalho com omissão de nutrientes em solução nutritiva para capim-Marandu e dos observados por Pereira (2001) com capim-Mombaça ao utilizar doses de magnésio de 0; 1,2; 3,6; 12; 24; 36; 48 e 60 mg L⁻¹ (correspondentes a 0; 0,05; 0,15; 0,5; 1; 1,5; 2 e 2,5 mmol L⁻¹), que obtiveram variação no número de perfilhos com a aplicação de magnésio.

Estudando-se os efeitos do suprimento de potássio e de magnésio no número de folhas verdes expandidas do capim-Tanzânia, observou-se que houve significância apenas para as doses de potássio, nos dois crescimentos da gramínea. No primeiro crescimento, o número total de folhas foi representado por equação de segundo grau (Figura 4) e a dose de potássio necessária para o máximo número de folhas foi de 9,2 mmol L⁻¹. No segundo crescimento, esse efeito foi representado por equação de primeiro grau (Figura 5), demonstrando que a dose de potássio de 11,6 mmol L⁻¹ não foi suficiente para o capim-Tanzânia expressar seu máximo potencial de produção de folhas. Isto também ocorreu com perfilhos, mostrando a elevada exigência dessa gramínea forrageira quanto ao suprimento de potássio com intuito de maximizar a produção de perfilhos e de folhas.

Comparando-se os dois crescimentos do capim pode ser observado que no segundo o número de folhas foi maior que no primeiro. Isso deve estar relacionado com o maior número de perfilhos emitidos na rebrota do capim, pois sabe-se que é relativamente constante o número de folhas por perfilho e, portanto, o maior número de perfilhos resultou no maior número de folhas no segundo do que no primeiro crescimento.

Estudando sete doses de potássio (0; 0,25; 1; 2; 4; 6 e 8 mmol L⁻¹) em solução nutritiva, Silva et al. (1995) mostraram respostas positivas às doses de potássio quanto ao número de folhas do capim-Tanzânia. Também Lavres Júnior (2001), em avaliação da emissão de folhas pelo capim-Mombaça recebendo aplicação de potássio, obteve respostas positivas, sendo que o

primeiro crescimento do capim foi representado por equação de primeiro grau, demonstrando que a dose para máxima produção de folhas seria superior à máxima utilizada no experimento (11 mmol L^{-1}).

Figura 4 - Número de folhas no primeiro crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Figura 5 - Número de folhas no segundo crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Observa-se que os resultados com capim-Tanzânia no presente trabalho, e com o mesmo ou outros capins estudados por outros autores realçam o efeito significativo do potássio no

surgimento de perfilhos e na emissão de folhas das gramíneas forrageiras tropicais. Isso demonstra que essas forrageiras, particularmente da espécie *Panicum maximum*, necessitam de elevadas doses de potássio em solução nutritiva, superiores às preconizadas por Sarruge (1975) para culturas em geral (de 6 mmol L⁻¹), para expressar o máximo potencial de emissão de folhas e perfilhos.

Chapman e Lemaire (1993) destacaram que o número de perfilhos é alterado por fatores ambientais, apontando entre eles o suprimento de nitrogênio. No presente trabalho está evidente também a influência do potássio no número total de perfilhos dessa gramínea.

4.2 Unidades SPAD

As unidades SPAD obtidas nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia, por ocasião dos dois crescimentos, não apresentaram significância para a interação entre as doses de potássio e de magnésio. Entretanto, houve significância das doses de magnésio nas unidades SPAD, nos dois crescimentos do capim.

O valor SPAD no primeiro crescimento do capim, em função do suprimento de magnésio, foi representado por equação de primeiro grau (Figura 6), revelando que a dose de 2,65 mmol L⁻¹ não foi suficiente para obtenção da máxima leitura SPAD. Os valores observados no segundo crescimento ajustaram-se a equação exponencial (Figura 7) demonstrando que nas doses extremamente baixas de magnésio ocorreram reduções nas concentrações de clorofila nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia.

Em experimento com solução nutritiva e estudando combinações de doses de fósforo e de magnésio para duas espécies de *Brachiaria*, Almeida (1998) detectou variação significativa do valor SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas apenas no primeiro crescimento dos dois capins, a qual foi expressa por equação de primeiro grau. Os resultados corroboram os encontrados no presente experimento, para o primeiro crescimento do capim-Tanzânia.

Pereira (2001) obteve variações significativas no valor SPAD em função das doses de magnésio, com ajuste para modelo quadrático nos dois cortes do capim-Mombaça. Os valores máximos obtidos foram de 41,8 e 33,4 unidades SPAD nas doses 1,7 e 2,0 mmol L⁻¹, no primeiro e segundo crescimentos, respectivamente.

Figura 6 - Unidades SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia, no primeiro crescimento, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Figura 7 - Unidades SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia, no segundo crescimento, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Para as doses de potássio foi observada significância no valor SPAD apenas no segundo crescimento e os resultados foram representados por equação de primeiro grau (Figura 8), com decréscimos nesse valor à medida que se incrementou a dose de potássio. Esses resultados podem ter duas explicações. A primeira refere-se à redução na absorção e disponibilidade do magnésio nas plantas com o aumento das doses de potássio, o que teria resultado em menor formação de

clorofila, dando uma tonalidade verde menos escura às folhas diagnósticas do capim-Tanzânia, refletida através do menor valor SPAD. A segunda relaciona-se ao maior estímulo no desenvolvimento da parte aérea com a elevação das doses de potássio, causando diluição do magnésio nos tecidos e reduzindo assim a produção de clorofila e a intensidade de verde medida pelo clorofilômetro.

Figura 8 - Unidades SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia, no segundo crescimento, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Pereira (2001) observou que a variação das unidades SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas com relação às doses de potássio nos dois crescimentos do capim-Mombaça não foi significativa. Resultado similar foi relatado por Lavres Júnior (2001), que também não obteve variação nas unidades SPAD com emprego de doses de potássio no segundo crescimento do capim-Mombaça.

4.3 Concentração de clorofila total

Na concentração de clorofila numa das lâminas de folhas recém-expandidas (+1) do capim-Tanzânia, por ocasião do primeiro e segundo crescimentos, não se verificou significância para a interação entre as doses de potássio e magnésio. Estudando-se os efeitos isolados de

potássio e de magnésio na concentração de clorofila na lâmina do capim observou-se que houve significância para as doses de magnésio nas duas épocas avaliadas.

As concentrações obtidas no primeiro e segundo crescimento foram representadas por equação exponencial (Figura 9 e 10), demonstrando que apenas nas doses extremamente baixas de magnésio ocorreram reduções nas concentrações de clorofila na lâmina da folha recém-expandida do capim.

Figura 9 - Concentração de clorofila na lâmina de folha recém-expandida (+1) do capim-Tanzânia, no primeiro crescimento, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Figura 10 - Concentração de clorofila na lâmina de folha recém-expandida (+1) do capim-Tanzânia, no segundo crescimento, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Segundo Mengel e Kirkby (2001), entre 15 e 20 % de todo magnésio absorvido pela planta participa como átomo central da molécula de clorofila. O aumento de suprimento do magnésio na solução nutritiva elevou a concentração de clorofila das folhas de capim-Tanzânia (ainda que dentro de limites no segundo crescimento).

A quantidade de clorofila *a* e *b* é afetada pela deficiência de magnésio nas plantas (MARSCHNER, 1995). Em experimento com doses de magnésio em feijão (*Phaseolus vulgaris*), Cakmak e Marschner (1992) observaram que a concentração de clorofila variou de 5,3 a 11,3 mg g⁻¹ de massa seca, respectivamente, com o suprimento de magnésio entre 0,02 e 1 mmol L⁻¹.

Estudando doses de nitrogênio e épocas de amostragem em capim-Tanzânia, Vantini (2002) relatou que as doses de nitrogênio influenciaram na concentração de clorofila total nas épocas amostradas e que nas doses mais elevadas do nutriente ocorreu redução nessa concentração.

A partir dos resultados encontrados neste experimento, buscou-se avaliar a correlação entre a leitura SPAD e a concentração de clorofila na folha do capim. Os resultados desse teste para doses de magnésio no primeiro crescimento do capim-Tanzânia mostraram valor baixo (0,33) para o coeficiente de correlação. Para o segundo crescimento da gramínea forrageira o valor desse coeficiente de correlação foi de 0,77. Portanto, no segundo crescimento do capim houve maior concordância dos valores de concentração de clorofila e leitura SPAD nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia.

A utilização do Chlorophyll Meter SPAD-502 para avaliação indireta do teor de clorofila possui inúmeras vantagens em relação ao método de determinação direta no tecido vegetal, podendo se destacar a rapidez e facilidade na obtenção dos resultados, o fato do método não ser destrutível e não ter custo com reagentes e restrições a locais ou pessoal especializado.

4.4 Área foliar

A interação entre doses de potássio e de magnésio não foi significativa para a área foliar do capim-Tanzânia, nos dois crescimentos. O estudo dos efeitos isolados do suprimento de potássio e de magnésio em termos de área foliar da gramínea forrageira mostrou variação significativa somente com as doses de potássio, no primeiro e segundo crescimentos. Os

resultados de determinação da área foliar total ajustaram-se a equações de segundo grau com máxima área foliar no primeiro crescimento em dose de potássio superior a 11,6 mmol L⁻¹ (Figura 11) e no segundo com a dose de potássio de 10,8 mmol L⁻¹ (Figura 12).

Figura 11 - Área foliar no primeiro crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Figura 12 - Área foliar no segundo crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Comparando a área foliar do capim nos dois crescimentos, observou-se que o comportamento foi semelhante ao relatado para o número de perfilhos e de folhas, ou seja, os valores encontrados no segundo crescimento foram superiores ao do primeiro. Isso ocorreu porque no segundo crescimento a disponibilização de energia para formação do sistema radicular certamente foi bem menor que no primeiro, e conseqüentemente mais energia tornou-se disponível para o desenvolvimento da parte aérea.

Chapman e Lemaire (1993) apontaram que o nitrogênio influi na elongação foliar, resultando em maior área foliar. O potássio tem papel na extensão da célula e conseqüentemente incrementou a área foliar, como pode ser observado nas figuras 11 e 12. Avaliando o crescimento de folhas de milho (*Zea mays*), Meiri, Silk e Lauchli (1992) relataram a importância do suprimento de potássio no desenvolvimento das folhas e atentaram para o fato da expansão foliar estar diretamente relacionada à atividade da ATPase (extrusão de H^+) na membrana plasmática.

A folha é responsável pela captação de energia solar, de tal forma que mais área foliar proporciona maior exposição à luz e por sua vez é importante fator para a produtividade da comunidade vegetal. Também, as folhas representam o principal componente no consumo da pastagem pelos animais (MORAES e PALHANO, 2002). Portanto, buscar a maximização da área foliar do capim-Tanzânia é uma das principais formas de aumentar a produtividade de uma pastagem.

Pereira (2001), em experimento com aplicação de doses de potássio (0,25; 1; 2; 4; 6; 8 e 12 mmol L⁻¹) para dois crescimentos do capim-Mombaça, verificou incrementos significativos e lineares na área foliar do capim para as doses desse nutriente na solução nutritiva, em ambos os crescimentos.

Estudando combinações de doses de nitrogênio e potássio em solução nutritiva para o capim-Mombaça, Lavres Júnior (2001) relatou que a área foliar variou segundo modelo polinomial nos dois crescimentos e afirmou que a máxima área foliar seria obtida no primeiro crescimento com a dose de potássio de 12,8 mmol L⁻¹ e no segundo com 12,2 mmol L⁻¹. Os resultados descritos em literatura, da mesma forma que os do presente trabalho, demonstram que as gramíneas forrageiras necessitam de elevado suprimento de potássio para maximizar a área foliar. Esse elevado suprimento de potássio supera o recomendado por Sarruge (1975) para culturas em geral, que é de 6 mmol L⁻¹.

Para as doses de magnésio as respostas quanto à área foliar não foram significativas no primeiro crescimento, mas tiveram significância para essa área no segundo crescimento. Esses resultados do segundo crescimento do capim ajustaram-se à equação exponencial (Figura 13). Assim, apenas as doses muito baixas de magnésio utilizadas no experimento não foram suficientes para que a gramínea forrageira tivesse expressado, no segundo crescimento, todo seu potencial de produção de área foliar.

Figura 13 - Área foliar no segundo crescimento do capim-Tanzânia, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Meiri, Silk e Lauchli (1992), avaliando o crescimento de folhas de milho com relação às doses de magnésio, ressaltaram para a necessidade de altas concentrações do nutriente nas células em divisão, o que resulta em maior expansão e crescimento foliar.

Em estudo com doses de magnésio no capim-Mombaça em solução nutritiva, Pereira (2001) obteve respostas significativas quanto à área foliar, nos dois crescimentos do capim. Os resultados corroboram os observados no presente trabalho, mostrando que para as gramíneas forrageiras da espécie *Panicum maximum* há que se atentar para o suprimento de magnésio, quando se deseja maximizar a área foliar.

4.5 Produção de massa seca

4.5.1 Massa seca da parte aérea

Para a produção de massa seca da parte aérea no primeiro corte do capim-Tanzânia não se obteve significância para a interação entre as doses de potássio e de magnésio. Porém, essa interação foi significativa para a produção desse capim no segundo corte.

Os estudos sobre suprimento de potássio e magnésio na massa seca da parte aérea, no primeiro corte do capim, mostraram variação significativa para as doses de potássio, com ajuste dos resultados a modelo quadrático (Figura 14) e com produção máxima na dose 9,8 mmol L⁻¹.

Figura 14 - Produção de massa seca da parte aérea do capim-Tanzânia, no primeiro corte, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Estudos com doses de potássio foram conduzidos por Mattos (1997) com os capins Braquiária e Marandu e por Pereira (2001) com capim-Mombaça, os quais observaram as máximas produções de massa seca da parte aérea, no primeiro crescimento com as doses 13,6; 9,4 e 12,0 mmol L⁻¹ de potássio na solução nutritiva. Assim, mais uma vez pode ser destacado que a dose de potássio de 6 mmol L⁻¹ (234 mg L⁻¹) estabelecida por Sarruge (1975), para as culturas em geral, está abaixo da necessária para que as gramíneas forrageiras tropicais expressem todo seu potencial produtivo.

Em grande parte dos experimentos em que foi comparada a produção de gramíneas forrageiras, com omissão de potássio em relação ao tratamento completo, ocorreram diferenças

expressivas na produção de massa seca da parte aérea. França e Haag (1985) com o capim-Tobiatã (*Panicum maximum*) e Pereira (2001) em dois crescimentos do capim-Mombaça relataram essas reduções nessa produção de massa seca. Ferrari Neto (1991) verificou que a produção de massa seca dos capins Braquiária e Colonião foi influenciada pelo potássio, pois na não aplicação do elemento a produção dessas plantas forrageiras, em dois cortes, correspondeu a 30 % daquela do tratamento completo.

Herling et al. (1991), avaliando a influência das adubações nitrogenada e potássica em capim-Setária (*Setaria anceps* Stapf Ex. Massey cv. Kazungula), relataram incrementos de produção de massa seca mediante o fornecimento de doses de nitrogênio e de potássio.

Em experimento com doses de potássio para os capins Braquiária e Colonião, Faquin et al. (1995) verificaram incrementos significativos na produção de massa seca da parte aérea das plantas forrageiras nos dois crescimentos e as equações de regressão mostraram relação quadrática com as doses de potássio, em ambas as espécies. Considerando o total dos cortes, relataram que a produção de massa seca em função das doses de potássio aumentou em quase quatro vezes no capim-Braquiária e em quase cinco vezes no capim-Colonião.

Mattos (1997), avaliando a diagnose nutricional de potássio em *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, em dois experimentos com solução nutritiva, verificou que o incremento de potássio na solução nutritiva proporcionou aumentos na produção de massa seca da parte aérea desses capins.

Estudos realizados por Sabreen e Saiga (2004) com doses de potássio (1,5 e 25 mmol L⁻¹) para três gramíneas forrageiras do grupo C₃ (Italian ryegrass “Magnet” (*Lolium multiflorum*), orchard-grass “Magwell” (*Dactylis glomerata*) e tall fescue “HiMag” (*Festuca arundinaceae*)) mostraram aumento na produção de massa seca da parte aérea de acordo com as doses de potássio na solução.

A adubação potássica tem mostrado importantes resultados no incremento de massa seca não apenas em casa-de-vegetação com solução nutritiva, mas também em trabalhos de campo, como o relatado por Vicente-Chandler et al. (1962) que, trabalhando com as adubações nitrogenada e potássica em capim-Colonião com regime de cortes mecânicos, observaram incremento na produção de massa seca até a dose de potássio de 440 kg ha⁻¹, quando forneceram o nitrogênio abundantemente. Andrade et al. (2000), realizando a aplicação de doses de nitrogênio e de sete doses de potássio (16; 40; 80; 160; 240; 280; e 304 kg ha⁻¹), relataram que a

adubação potássica influenciou positivamente a produção de massa seca do capim-Elefante cultivar Napier (*Pennisetum purpureum* cv. Napier).

Os resultados mostrados no presente trabalho corroboram os de Silva et al. (1995), em estudos com sete doses de potássio (0; 0,25; 1; 2; 4; 6 e 8 mmol L⁻¹) no capim-Tanzânia, que também demonstraram respostas positivas às doses de potássio na produção de massa seca da parte aérea.

Na ocasião do segundo corte do capim-Tanzânia a interação entre as doses de potássio e de magnésio foi significativa para a produção de massa seca da parte aérea e os resultados ajustaram-se ao modelo polinomial (Figura 15). As doses de potássio de 10,0 mmol L⁻¹ e de magnésio de 2,2 mmol L⁻¹ maximizaram a produção de massa seca da parte aérea. A relação entre essas doses de potássio e de magnésio é de 4,6:1. A produção de massa seca da parte aérea no primeiro corte do capim na dose de potássio de 11,6 mmol L⁻¹ foi 2,9 vezes menor que a do segundo corte na dose de potássio de 11,6 mmol L⁻¹ combinada com a de magnésio de 2,65 mmol L⁻¹. Assim como para emissão de folhas, aparecimento de perfilhos e área foliar, expressiva diferença na produção de massa seca da parte aérea foi constatada entre os dois crescimentos do capim.

Quando se elevou apenas a dose de potássio, durante o segundo crescimento do capim, mantendo-se baixa a dose de magnésio, os incrementos em produção de massa seca da parte aérea foram pouco expressivos, sendo que a maximização da produção de massa seca do capim-Tanzânia ocorreu quando se aumentou não somente a dose de potássio, mas também a de magnésio.

Lavres Júnior (2001), conduzindo experimento em casa-de-vegetação, com combinações de doses de nitrogênio e de potássio, constatou a necessidade de potássio de 11,1 mmol L⁻¹ no primeiro crescimento e de 10,2 mmol L⁻¹ no segundo para maximizar a produção de massa seca da parte aérea do capim-Mombaça.

Avaliando a combinação entre doses de nitrogênio (3, 15 e 27 mmol L⁻¹) e de magnésio (0,2 e 2 mmol L⁻¹) em três cultivares de *Panicum maximum*, Corrêa (1996) relatou efeito significativo do suprimento de magnésio na produção de massa seca da parte aérea, somente quando utilizou doses mais elevadas de nitrogênio na solução nutritiva.

Figura 15 - Produção de massa seca da parte aérea do capim-Tanzânia, por ocasião do segundo corte, em função das combinações de doses de potássio e de magnésio

Pereira (2001), avaliando doses de magnésio na solução nutritiva para o capim-Mombaça, observou resposta quadrática no primeiro corte e linear no segundo corte para a produção de massa seca da parte aérea. A dose para máxima produção de massa seca da parte aérea no primeiro crescimento foi de 2,5 mmol L⁻¹ e no segundo foi superior à dose máxima utilizada no experimento (2,5 mmol L⁻¹).

Analisando os resultados disponíveis na literatura e os observados no presente experimento, nota-se que as gramíneas forrageiras são exigentes em magnésio, o que muitas vezes não é evidenciado pelas quantidades de magnésio que são adicionadas ao solo juntamente com o calcário, visando a correção da acidez do solo. Quanto à solução nutritiva de Sarruge (1975), para as culturas de maneira geral, a concentração de magnésio usualmente empregada (2 mmol L⁻¹) está abaixo das reais necessidades do capim-Tanzânia, quando se deseja maximizar a produção de massa seca da parte aérea.

4.5.2 Massa seca de raízes

A produção de massa seca de raízes do capim-Tanzânia mostrou significância para a interação entre as doses de potássio e de magnésio. Através da equação de regressão polinomial (Figura 16) observa-se que a dose de potássio de 8,4 mmol L⁻¹ e a de magnésio de 1,9 mmol L⁻¹ resultaram na máxima produção de massa seca de raízes. Nas doses baixas tanto de potássio como de magnésio, além da menor massa radicular, as raízes apresentaram-se mais frágeis, quebrando-se facilmente no momento da separação da sílica.

Figura 16 - Produção de massa seca de raízes do capim-Tanzânia, em função das combinações de doses de potássio e de magnésio

Com a utilização de doses elevadas de potássio combinadas com doses moderadas ou baixas de magnésio não é possível maximizar a produção de massa seca de raízes, assim como o emprego de elevadas doses de magnésio junto com moderadas doses de potássio também não

permitem a maximização da produção de raízes. Para que este objetivo fosse alcançado foi necessário utilizar altas doses de potássio e de magnésio em conjunto.

Utilizando magnésio de 2 mmol L⁻¹ e doses de potássio, Mattos (1997) verificou que a produção de massa seca de raízes variou com as doses de potássio atingindo a máxima produção com o emprego de potássio de 8,8 mmol L⁻¹. Esse resultado é similar ao observado no presente experimento.

Lavres Júnior (2001), em estudo com capim-Mombaça e aplicando o magnésio na dose de 2 mmol L⁻¹, demonstrou que a dose de potássio para maximizar a produção de massa seca de raízes foi de 10,2 mmol L⁻¹ combinada a de nitrogênio de 33,4 mmol L⁻¹. Pereira (2001), também com capim-Mombaça em solução nutritiva com magnésio constante de 2 mmol L⁻¹, verificou que a máxima produção de massa seca de raízes ocorreu na dose de potássio de 9,2 mmol L⁻¹. A máxima produção de raízes observada por Pereira (2001) foi em doses de potássio e magnésio muito semelhantes às encontrados no presente trabalho com capim-Tanzânia, mostrando a elevada exigência das gramíneas forrageiras da espécie *Panicum maximum* quanto ao suprimento de potássio. Assim, fica evidente a necessidade de equilíbrio na adubação com potássio e magnésio, quando se objetiva maximizar a produção de massa seca de raízes.

Corrêa (1996), em experimento para avaliação de combinações entre doses de nitrogênio (3, 15 e 27 mmol L⁻¹) e de magnésio (0,2 e 2 mmol L⁻¹) em três cultivares de *Panicum maximum*, observou efeito significativo do suprimento de magnésio na produção de massa seca de raízes, apenas quando utilizou a dose mais elevada de nitrogênio (27 mmol L⁻¹) na solução nutritiva.

Monteiro et al. (1995) constataram que a omissão de magnésio na solução nutritiva para cultivo do capim-Marandu reduziu em 70% a produção de massa seca de raízes, quando comparada ao tratamento completo. Pereira (2001), estudando capim-Mombaça, concluiu que o ponto de máxima produção de massa seca de raízes ocorreu em dose de magnésio superior a 2,5 mmol L⁻¹.

Resultados na literatura são poucos sobre a produção de massa seca de raízes e tratando exclusivamente de aplicação de magnésio para as plantas forrageiras são raros. A maior parte dos estudos envolvem aplicação de calcário, o qual tem na sua composição o cálcio e o magnésio, dificultando a separação dos efeitos do magnésio no sistema radicular, de forma distinta. Trabalhos realizados por Premazzi (1991) e Guimarães (2000) mostraram que a elevação na saturação por bases, por meio da adição de calcário, não influenciou a produção de massa seca de

raízes das gramíneas forrageiras. Porém, Oliveira et al. (2003), estudando calagem e adubação na recuperação de capim-Braquiária, relataram que possivelmente o magnésio afetou mais o sistema radicular que o cálcio na camada de 0 a 10 cm de profundidade, pois os teores de cálcio nessa camada eram elevados antes da aplicação de calcário e as plantas responderam à calagem, aumentando a produção de massa seca de raízes.

4.6 Comprimento e superfície radicular

A interação entre as doses de potássio e magnésio revelou-se significativa para o comprimento radicular do capim-Tanzânia, com os resultados tendo ajuste à equação de regressão polinomial (Figura 17). Verificou-se que o máximo comprimento radicular foi obtido na dose de potássio de $10,9 \text{ mmol L}^{-1}$ combinada com a dose de magnésio de $2,3 \text{ mmol L}^{-1}$, que resulta na relação entre elas de 4,7:1. O comprimento radicular foi aproximadamente 10 vezes maior na combinação 10,89K e 2,3Mg do que na combinação 0,4K e 0,05Mg.

Observa-se que o comprimento radicular só pode ser maximizado quando se utilizou alta dose de potássio combinada com alta dose de magnésio. Esse resultado reforça a grande importância da utilização do magnésio não apenas no corretivo de solo, mas como nutriente em pastagens manejadas de forma intensiva, onde é freqüente a aplicação de adubo potássico.

Estudos realizados por Lavres Júnior (2001) com doses de potássio para o capim-Mombaça demonstraram que o máximo comprimento radicular foi atingido com potássio de 11 mmol L^{-1} na solução. Esta dose está muito próxima da constatada no presente trabalho, demonstrando mais uma vez que a dose estabelecida por Sarruge (1975) não é suficiente para o capim-Tanzânia expressar todo seu potencial de desenvolvimento radicular.

A análise de variância para superfície radicular mostrou que a interação entre doses de potássio e de magnésio não foi significativa. Avaliando-se os efeitos isolados das doses de potássio e de magnésio para a superfície radicular do capim-Tanzânia, observou-se que houve significância para essas doses separadamente. O efeito das doses de potássio foi representado por equação de segundo grau (Figura 18), pela qual se pode verificar que a dose de potássio necessária para a máxima superfície radicular foi de $8,6 \text{ mmol L}^{-1}$. O efeito do magnésio, foi representado por equação exponencial (Figura 19), verificando-se que apenas nas doses muito baixas ocorreu redução da superfície radicular do capim.

$$Y = 33,2130 + 52,4017K - 3,3513K^2 + 337,7935Mg - 94,5540Mg^2 + 8,9429KMg$$

$$R^2 = 0,72$$

Figura 17 - Comprimento radicular do capim-Tanzânia, em função de combinações de doses de potássio e de magnésio

Figura 18 - Superfície radicular do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Figura 19 - Superfície radicular do capim-Tanzânia, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

Estudo realizado por Lavres Júnior (2001), com doses de nitrogênio e potássio em capim-Mombaça, mostrou que na dose de potássio de $13,4 \text{ mmol L}^{-1}$ ocorreu maximização da superfície radicular da gramínea forrageira, e essa dose foi superior àquela observada com capim-Tanzânia no presente experimento.

4.7 Comprimento e superfície radicular específicos

A interação entre doses de potássio e de magnésio não foi significativa para o comprimento e superfície radicular específicos do capim-Tanzânia. Estudando-se os efeitos isolados do suprimento de potássio e de magnésio constatou-se variação significativa somente com as doses de potássio, tanto para o comprimento específico como para a superfície radicular específica. Os resultados ajustaram-se a equações de segundo grau com mínimo comprimento radicular específico na dose de potássio de $7,2 \text{ mmol L}^{-1}$ (Figura 20) e mínima superfície radicular específica na dose de potássio de $6,7 \text{ mmol L}^{-1}$ (Figura 21).

Elevando-se a dose de potássio na solução nutritiva até $7,2 \text{ mmol L}^{-1}$ ocorreu redução no comprimento radicular específico do capim-Tanzânia, devido à maior espessura das raízes. Para superfície radicular específica foi observado o mesmo comportamento, porém com menor superfície radicular específica na dose de potássio de $6,7 \text{ mmol L}^{-1}$. Quando o potássio foi

suprido em baixa concentração ocorreu aumento no comprimento radicular específico e na superfície radicular específica, ou seja, redução do diâmetro médio das raízes, que segundo Fitter (1996) é uma defesa da planta para aumentar a área de exploração das raízes e conseqüentemente absorver mais nutrientes. Lavres Júnior (2003), com doses de potássio em capim-Mombaça, relatou menor superfície radicular específica e menor comprimento radicular específico nas doses de potássio de 7,2 mmol L⁻¹ e de 7,3 mmol L⁻¹, respectivamente, em resultados muito semelhantes aos observados no presente experimento.

Figura 20 - Comprimento radicular específico do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Figura 21 - Superfície radicular específica do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

4.8 Concentração de nutrientes nas lâminas de folhas recém-expandidas

Tendo como base uma série de trabalhos experimentais, entre os quais Monteiro et al. (1995), Mattos (1997), Santos (1997), Abreu e Monteiro (1999), Pereira (2001), Manarin e Monteiro (2002), Mattos et al. (2002), Monteiro, Vendemiatti e Silveira (2004b) e Monteiro (2005) descreveu que as lâminas foliares das duas folhas recém-expandidas (também designadas como +1 e +2) refletem adequadamente o estado nutricional dos capins tropicais, entre os quais está o capim-Tanzânia. Daí decorre a utilização dessas lâminas foliares na avaliação nutricional do capim-Tanzânia no presente experimento, em termos dos nutrientes catiônicos.

A análise de tecidos vegetais consiste na determinação das concentrações de nutrientes na parte aérea ou em uma parte da mesma. O princípio básico é que a concentração de um nutriente deve refletir seu estado nutricional e a disponibilidade do nutriente. (COUTINHO et al., 2004). Isso ocorre porque a folha é, comumente, o órgão que melhor reflete a nutrição das plantas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

4.8.1 Potássio

A análise de variância revelou interação significativa entre as doses de potássio e de magnésio para a concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas na ocasião dos dois cortes do capim-Tanzânia, com ajuste dos resultados a equações polinomiais.

À medida em que se aumentaram as doses de potássio na solução nutritiva e com o mais baixo suprimento de magnésio, a concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas também foi incrementada, sendo observado esse mesmo comportamento nos dois cortes do capim.

No material amostrado no primeiro corte da gramínea forrageira (Figura 22) pode-se constatar que a concentração de potássio nas folhas diagnósticas do capim variou de 2,6 na combinação de potássio de 0,4 mmol L⁻¹ e de magnésio de 1,4 mmol L⁻¹ a 32,1 g kg⁻¹ na combinação de potássio de 11,6 mmol L⁻¹ e de magnésio de 0,05 mmol L⁻¹.

Nas lâminas foliares coletadas no segundo corte, a concentração de potássio variou entre valores próximos a zero até valores próximos a 55 g kg⁻¹ de massa seca (Figura 23). Os resultados mostram que, quando se utilizou a dose mais elevada de potássio combinada com a

mais baixa de magnésio, as concentrações de potássio, nos dois cortes, são mais elevadas que os valores médios sugeridos por Werner et al. (1996) para brotações + lâminas de folhas recém-expandidas para os capins Coastcross (*Cynodon dactylon*), Colonião, Napier e Tifton (híbrido F1 interespecífico entre *Cynodon nlemfuensis* e *Cynodon dactylon*) (15 a 30 g kg⁻¹) e para o capim-Marandu (12 a 25 g kg⁻¹).

Figura 22 - Concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-Tanzânia, amostradas por ocasião do primeiro corte das plantas, em função das combinações de doses de potássio e de magnésio

O nível crítico de potássio calculado nas lâminas de folhas recém-expandidas, as quais representam com grande precisão o estado nutricional das gramíneas forrageiras, foi de 24 e 22 g kg⁻¹ no primeiro e segundo cortes, respectivamente. Esses valores são muito próximos aos relatados por Mattos (1997) de 29 e 22 g kg⁻¹ para o capim-Marandu e de 23 e 20 g kg⁻¹ para o capim-Braquiária, no primeiro e segundo cortes, respectivamente. Os valores observados neste trabalho são superiores aos relatados por Pereira (2001) de 15,4 e 17,3 g kg⁻¹ nas lâminas de

folhas recém-expandidas do capim-Mombaça nos dois crescimentos, e os citados por Monteiro (2005) de 13 g kg^{-1} para capim-Tanzânia.

Avaliando, em solução nutritiva, a performance de três cultivares de gramíneas de regiões frias com alta capacidade de absorção de magnésio, Sabreen et al. (2003) observaram que as concentrações de magnésio na planta eram altas sempre que as concentrações de potássio eram baixas. Assim, concluíram que o acúmulo de magnésio na parte aérea reduziu o acúmulo de potássio. Esses resultados concordam com os observados no presente estudo, pois sempre que se elevou a dose magnésio, mantendo a dose de potássio constante, ocorreu redução na concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas.

Figura 23 - Concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-Tanzânia, amostradas por ocasião do segundo corte das plantas, em função das combinações de doses de potássio e de magnésio

Em cultivo do capim-Marandu em solução nutritiva, Monteiro et al. (1995) observaram que na omissão de potássio a concentração desse nutriente na parte aérea foi de $4,3 \text{ g kg}^{-1}$, a qual

foi significativamente mais baixa daquela do tratamento completo, que esteve entre 28,0 e 25,0 g kg⁻¹, na época do primeiro e do segundo corte das plantas, respectivamente.

Mattos (1997), avaliando a diagnose nutricional de potássio em *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, verificou que o incremento de potássio na solução nutritiva proporcionou aumentos nas concentrações de potássio nos componentes da parte aérea das duas espécies. Andrade et al. (2000), em experimento com doses de potássio e de nitrogênio para capim-Elefante cultivar Napier, também constataram que as concentrações de potássio nas lâminas foliares foram incrementadas com a aplicação do adubo potássico.

Avaliando o tecido foliar do capim-Braquiária submetido a doses de magnésio, Almeida e Monteiro (1998) observaram que a concentração de potássio no tecido decresceu com o aumento das doses de magnésio fornecidas às plantas pela solução nutritiva.

Lavres Júnior (2001) e Pereira (2001), estudando doses de potássio para capim-Mombaça, verificaram que a elevação das doses de potássio na solução nutritiva resultou em aumento na concentração do nutriente nas lâminas de folhas recém-expandidas. Lavres Júnior (2001) constatou ainda que na dose de potássio de 11,8 mmol L⁻¹ a concentração desse nutriente nessas folhas diagnósticas foi de 13,58 g kg⁻¹, na amostragem do primeiro corte, enquanto essa dose não foi suficiente para maximizar a concentração de potássio nessa parte da planta coletada no segundo corte. Pereira (2001) relatou que a máxima concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas colhidas no primeiro corte do capim-Mombaça foi obtida na dose de potássio de 10,5 mmol L⁻¹ e na época do segundo corte na dose de 18,3 mmol L⁻¹, com as concentrações de potássio atingindo 20,85 e 22,64 g kg⁻¹, respectivamente.

4.8.2 Magnésio

A interação entre doses de potássio e de magnésio foi significativa na concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no primeiro e segundo cortes do capim-Tanzânia.

Elevando-se as doses de magnésio na solução nutritiva nota-se que ocorreu aumento na concentração do nutriente nas folhas diagnósticas do capim-Tanzânia coletadas nos dois cortes (Figuras 24 e 25). Porém, quanto mais baixa a dose de potássio combinada com a dose de magnésio, mais elevada foi a concentração do magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas.

Figura 24 - Concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-Tanzânia, amostradas por ocasião do primeiro corte das plantas, em função das combinações de doses de potássio e de magnésio

Mantendo-se constante a dose de potássio em 11,6 mmol L⁻¹ e variando a dose de magnésio, constata-se (Figuras 24 e 25) que a máxima concentração de magnésio observada nas folhas diagnósticas foi de 2 e 3 g kg⁻¹, respectivamente, no material coletado no primeiro e segundo cortes da gramínea. Quando se aplicou a mais baixa dose de potássio e alterando as doses de magnésio essas concentrações variaram entre 5,0 e 6,0 g kg⁻¹ na amostragem do primeiro e 7,5 e 9,0 g kg⁻¹ na do segundo corte. Esses resultados realçam o antagonismo existente entre os dois nutrientes também no capim-Tanzânia.

Skerman e Riveros (1982), ao avaliarem a concentração de magnésio na massa seca da parte aérea em 280 gramíneas forrageiras, verificaram variação de 0,4 a 9,0 g kg⁻¹ (com média em torno de 3,6 g kg⁻¹). Werner e Haag (1972) verificaram que o nível crítico de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Colonião foi de 1,2 g kg⁻¹. Pereira (2001) observou que esse valor foi de 4,2 g kg⁻¹ nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-

Marandu. Assim, no presente trabalho, quando se utilizaram doses muito baixas de potássio combinadas com elevadas de magnésio, a concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas resultou em valor mais alto que o nível crítico apontado para várias gramíneas forrageiras.

Figura 25 - Concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-Tanzânia, amostradas por ocasião do segundo corte das plantas, em função das combinações de doses de potássio e de magnésio

Em experimento conduzido com objetivo de estudar a resposta do sorgo sacarino ao magnésio, na presença e ausência de calagem e adubação potássica, Rosolem, Machado e Brinholi (1984) observaram que os teores de magnésio no solo não foram alterados pela aplicação de potássio, porém a absorção de magnésio pela planta foi influenciada. Também Büll (1986), estudando o capim-Tobiatã e a soja-perene, constatou diminuição na absorção de cálcio e de magnésio como consequência do aumento na absorção de potássio, em função da elevação no potássio disponível, caracterizado pelo aumento na relação $K/(Ca + Mg)$ no solo. Ventura (1987),

em experimento para estudar a influência de doses de potássio, cálcio e magnésio em solução nutritiva no crescimento da soja, relatou ter ocorrido redução na concentração de magnésio na massa seca das folhas superiores e nos caules de 6,1 para 4,9 g kg⁻¹ e de 4,7 para 3,2 g kg⁻¹, respectivamente, quando aumentou a dose de potássio na solução de 3 mmol L⁻¹ para 9 mmol L⁻¹.

Uma série de estudos com gramíneas forrageiras demonstram redução na concentração de magnésio na parte aérea com a elevação das doses de potássio no substrato. Faquin et al. (1994), em experimento sobre limitações nutricionais do capim-Colonião, observaram interações entre potássio e magnésio. Na não aplicação de potássio foi encontrada a mais alta concentração de magnésio no tecido (6 g kg⁻¹), enquanto no tratamento completo essa concentração foi de 3 g kg⁻¹. Andrade et al. (2000) verificaram que a concentração de magnésio nas lâminas foliares do capim-Elefante decresceu de 1,9 para 1,0 g kg⁻¹ com a aplicação de potássio entre 16 e 304 kg ha⁻¹. Mattos e Monteiro (1998), em estudo da concentração de magnésio nas partes da *Brachiaria decumbens* submetida a doses de potássio, também verificaram que nas doses mais altas de potássio ocorreu redução na concentração de magnésio nas partes das plantas. Assim, deve-se atentar à nutrição das gramíneas com relação ao magnésio, quando o potássio for disponibilizado em altas concentrações no substrato.

Adjei, Kalmbacher e Richcial (2001), avaliando o valor nutritivo da Floralta limpograss (*Hemarthria altissima*) submetida a doses de 0; 37; 74 e 148 kg ha⁻¹, concluíram que com a aplicação de potássio ocorreu redução na absorção de magnésio pela forrageira.

Em experimento com doses de potássio em capim-Mombaça, Lavres Júnior (2001) observou que a concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas foi reduzida no material amostrado nos dois cortes do capim, em função do aumento no suprimento de potássio. No primeiro corte, a máxima concentração de magnésio de 5,27 g kg⁻¹ foi obtida com a dose de potássio de 0,5 mmol L⁻¹ e a mínima concentração desse nutriente foi observada na dose de potássio de 8,1 mmol L⁻¹. Na amostra coletada no segundo corte, a máxima concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas foi de 5,98 g kg⁻¹ e a mínima de 1,95 g kg⁻¹ nas respectivas doses de potássio de 0,5 mmol L⁻¹ e 8,3 mmol L⁻¹.

Pereira (2001), estudando doses de magnésio para o capim-Mombaça, obteve incrementos lineares na concentração de magnésio nas lâminas de folhas recém-expandidas em função das doses de magnésio utilizadas. A máxima concentração de magnésio no material colhido no

primeiro corte foi de $6,67 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de magnésio de $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$ e no segundo corte foi de $3,80 \text{ g kg}^{-1}$ na dose $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$.

O presente trabalho mostra que o fornecimento de magnésio resulta em aumento na concentração do nutriente nas lâminas de folhas recém-expandidas, porém esse acréscimo é mais acentuado quando as doses de potássio são baixas, mas tem dimensão reduzida quando são elevadas. Assim, o monitoramento da concentração de magnésio nas folhas diagnósticas do capim-Tanzânia deve ser realizado, particularmente quando se estiver adubando a pastagem com doses elevadas de potássio, com intuito de evitar possíveis desbalanços nutricionais.

4.8.3 Cálcio

A interação entre as doses de potássio e magnésio não foi significativa para a concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas no primeiro corte do capim-Tanzânia. Os efeitos isolados dos suprimentos de potássio e de magnésio para a concentração de cálcio nas folhas diagnósticas coletadas nesse corte do capim-Tanzânia mostraram variação significativa para as doses de potássio e não significativa para as de magnésio. A concentração de cálcio, em função das doses de potássio, foi representada por equação de segundo grau (Figura 26). A mínima concentração de cálcio observada foi de $5,34 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de potássio de $11,6 \text{ mmol L}^{-1}$, sendo essa concentração 2,19 vezes mais baixa que a verificada na dose de potássio de $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$.

Para as folhas diagnósticas coletadas na ocasião do segundo corte a análise de variância mostrou interação significativa entre as doses de potássio e de magnésio para a concentração de cálcio do capim-Tanzânia (Figura 27). Enquanto as doses de magnésio resultaram em redução de pequena amplitude na concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas, as doses de potássio proporcionaram drástica redução na concentração de cálcio.

No material vegetal amostrado nos dois cortes do capim-Tanzânia, as doses de potássio tiveram efeito depressivo na concentração de cálcio nas folhas diagnósticas. O fornecimento de alta dose de potássio resultou em baixa concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia. Na amostragem do segundo corte, as doses de magnésio também apresentaram efeito negativo na concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas, porém em menor magnitude quando comparada às doses de potássio.

Figura 26 - Concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-Tanzânia, amostradas no primeiro corte, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Figura 27 - Concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-Tanzânia, amostradas por ocasião do segundo corte das plantas, em função das combinações de doses de potássio e de magnésio

O nível crítico de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas colhidas no primeiro corte foi calculado a partir da mais elevada produção de massa seca (100 % da produção relativa). A massa seca referente a 90 % da produção relativa foi substituída na equação $Y = 27,1073 - 2,4819 \text{ Ca} + 0,0627 \text{ Ca}^2$, obtendo-se a concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém expandidas de $5,30 \text{ g kg}^{-1}$.

Cultivando ervilhaca em solução nutritiva e tendo como substrato uma mistura de argila e areia com várias relações Ca/Mg e Mg/K, Tewari, Sinha e Mandal (1971) relataram que incrementos na relação Ca/Mg causaram decréscimo nas concentrações de magnésio e de potássio nas plantas. Entretanto, reduções mais drásticas na concentração dos nutrientes ocorreram em relação ao cálcio e o magnésio quando se elevou o suprimento de potássio. Diminuição na absorção de cálcio e magnésio como consequência do maior suprimento de potássio, caracterizado pelo aumento na relação $K/(\text{Ca} + \text{Mg})$ no solo, foi observada por Büll (1986), nos três cortes para o capim-Tobiatã como para a soja-perene.

Marschner (1995) relatou que a absorção de potássio em elevadas quantidades pode reduzir a absorção ou a disponibilidade fisiológica não somente do magnésio, mas também do cálcio às plantas. Isto é reafirmado no presente trabalho, pois com a elevação das doses de potássio ocorreu redução na concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia.

Avaliando três cultivares de gramíneas de regiões frias com alta capacidade de absorção de magnésio, em solução nutritiva, Sabreen et al. (2003) reportaram que as concentrações de cálcio e de magnésio na parte aérea eram mais elevadas nas doses mais baixas de potássio. Em estudo com capim-Napier para avaliar as relações $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$, Nogueira et al. (1997) constataram que o excesso de magnésio interferiu na concentração de cálcio nas plantas, quando utilizaram elevadas doses de MgCO_3 .

Ferragine (1998), em experimento com solução nutritiva avaliando doses de nitrogênio e de potássio para o capim-Braquiária, observou redução na concentração de cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas de acordo com a elevação das doses de potássio, no material colhido no segundo corte do capim. Resultados semelhantes foram descritos por Lavres Júnior (2001) ao testar doses de potássio em capim-Mombaça, quando verificou que as doses de potássio proporcionaram redução na concentração de cálcio nos tecidos vegetais coletados nos dois cortes da gramínea. No material amostrado no primeiro corte do capim-Mombaça, as concentrações de

cálcio nas lâminas de folhas recém-expandidas variaram de $3,59 \text{ g kg}^{-1}$ na dose mais baixa de potássio ($0,5 \text{ mmol L}^{-1}$) até $10,11 \text{ g kg}^{-1}$ na dose mais elevada (11 mmol L^{-1}). No material do segundo corte as concentrações de cálcio variaram entre $2,36$ e $7,60 \text{ g kg}^{-1}$, e foram correspondentes às doses de potássio de $0,5$ e $11,0 \text{ mmol L}^{-1}$.

4.8.4 Cobre

A interação entre doses de potássio e de magnésio não foi significativa para a concentração de cobre nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas na ocasião dos dois cortes do capim-Tanzânia.

Estudando os efeitos isolados do potássio e do magnésio na concentração de cobre nas folhas diagnósticas dessa gramínea forrageira obteve-se significância apenas para as doses de potássio nas amostragens do primeiro corte e de magnésio no segundo corte das plantas. Elevando-se a dose de potássio entre $0,4$ e $3,2 \text{ mmol L}^{-1}$ ocorreu redução drástica na concentração de cobre nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim (Figura 28). O mesmo comportamento foi observado com relação às doses de magnésio e a concentração de cobre no segundo corte (Figura 29), com redução acentuada na concentração entre as doses $0,05$ e $0,7 \text{ mmol L}^{-1}$.

Figura 28 - Concentração de cobre nas lâminas recém-expandidas (LR) do capim-Tanzânia, no primeiro corte, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Figura 29 - Concentração de cobre nas lâminas recém-expandidas (LR) do capim-Tanzânia, amostradas no segundo corte, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

As doses de potássio no primeiro corte e as de magnésio no segundo influenciaram negativamente a concentração de cobre nas lâminas recém-expandidas, mostrando que a competição entre os cátions pode influenciar até mesmo nas concentrações dos micronutrientes catiônicos nas plantas.

Nas doses de potássio e de magnésio normais na solução de Sarruge (1975), as concentrações de cobre nas lâminas de folhas recém-expandidas foram de 6,1 e 5,6 mg kg⁻¹, respectivamente, valores estes considerados adequados por Werner et al. (1996). Mesmo nas doses mais elevadas de potássio e de magnésio, as concentrações de cobre nas lâminas de folhas recém-expandidas, respectivamente de 5,9 e 5,6 mg kg⁻¹, apresentaram-se dentro da faixa de concentração adequada para as gramíneas forrageiras de alta exigência nutricional (4 a 20 mg kg⁻¹), segundo Werner et al. (1996).

4.8.5 Ferro

Para a concentração de ferro nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas nos dois cortes do capim-Tanzânia, a análise de variância mostrou que a interação entre doses de potássio e magnésio não foi significativa.

Avaliando-se os efeitos do suprimento de potássio e de magnésio na concentração de ferro nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim constatou-se significância para as doses de

potássio no primeiro corte (Figura 30) e magnésio no segundo corte (Figura 31). A concentração de ferro nas lâminas foi reduzida com o aumento das doses de potássio no primeiro corte e com as doses de magnésio no segundo corte, apresentando em ambos os casos redução drástica entre as doses de potássio de 0,4 e 3,2 mmol L⁻¹ e de magnésio de 0,05 e 0,7 mmol L⁻¹. Para doses de potássio mais elevadas do que 3,2 mmol L⁻¹ e para as doses de magnésio superiores a 0,7 mmol L⁻¹ ocorreram variações mínimas na concentração de ferro nas lâminas de folhas recém-expandidas, de forma similar ao ocorrido com o cobre.

Figura 30 - Concentração de ferro nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) amostradas no primeiro corte do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

De acordo com Werner et al. (1996), a concentração de ferro nas lâminas de folhas recém-expandidas adequada para as gramíneas forrageiras varia entre 50 e 200 mg kg⁻¹. Portanto a concentração de ferro de 76,7 mg kg⁻¹, constatada para a dose de potássio de 11,6 mmol L⁻¹ no primeiro corte, e a concentração de ferro de 105,7 mg kg⁻¹ para a dose de magnésio de 2,65 mmol L⁻¹ no segundo corte, estão dentro da faixa adequada para o capim-Tanzânia.

Figura 31 - Concentração de ferro nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) amostradas no segundo corte do capim-Tanzânia, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

4.8.6 Manganês

A interação entre as doses de potássio e de magnésio não foi significativa para a concentração de manganês nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no primeiro corte do capim-Tanzânia. O estudo dos efeitos isolados do suprimento de potássio e de magnésio na concentração de manganês nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no primeiro corte do capim mostrou significância para as doses de potássio. Os resultados ajustaram-se a modelo de segundo grau (Figura 32) e a dose de potássio de 6,9 mmol L⁻¹ resultou na mais baixa concentração de manganês nas folhas diagnósticas do capim.

Na amostragem realizada na ocasião do segundo corte, a interação entre doses de potássio e de magnésio foi significativa quanto à concentração de manganês nas folhas diagnósticas do capim-Tanzânia. Os resultados foram representados pelo modelo polinomial (Figura 33) e observou-se que as doses de potássio de 7,6 mmol L⁻¹ e de magnésio de 1,7 mmol L⁻¹ resultaram na mais baixa concentração de manganês nas lâminas de folhas recém-expandidas (24 mg kg⁻¹). De acordo com Werner et al. (1996) este valor está abaixo da faixa adequada de manganês para as gramíneas com alta exigência nutricional, que varia entre 40 e 200 mg kg⁻¹. Isto poderia resultar na deficiência desse micronutriente, mas não foram observados sintomas visuais dessa deficiência nas plantas no decorrer do presente experimento. A menor disponibilização de

potássio e/ou magnésio na solução nutritiva resultou em aumento na concentração de manganês nas folhas diagnósticas da gramínea forrageira.

Figura 32 - Concentração de manganês nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no primeiro corte do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Figura 33 - Concentração de manganês nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-Tanzânia, amostradas por ocasião do segundo corte das plantas, em função das combinações de doses de potássio e de magnésio

4.8.7 Zinco

A análise de variância mostrou que não houve significância para a interação entre doses de potássio e de magnésio para a concentração de zinco das lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia, na amostragem realizada dos dois cortes.

A concentração de zinco nas folhas diagnósticas do capim, avaliada em relação aos efeitos isolados do suprimento de potássio e de magnésio variou significativamente com as doses de potássio no primeiro (Figura 34) e também no segundo corte (Figura 35). No segundo corte constatou-se ainda significância para as doses de magnésio em relação à concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas (Figura 36). No material coletado em ambos os cortes do capim em termos do efeito do potássio e no segundo corte para o magnésio ocorreram reduções nas concentrações de zinco nas folhas diagnósticas. Essas reduções foram mais acentuadas entre as doses de potássio de 0,4 e 3,2 mmol L⁻¹ e de magnésio entre 0,05 e 0,7 mmol L⁻¹.

Figura 34 - Concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no primeiro corte do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

Werner et al. (1996) afirmaram que as concentrações adequadas de zinco nas partes mais novas das gramíneas forrageiras de alta exigência nutricional variam de 20 a 50 mg kg⁻¹. No primeiro corte do capim-Tanzânia, as concentrações de zinco mantiveram-se dentro dessa faixa, considerando qualquer dose de potássio. Porém no segundo crescimento as concentrações de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas estiveram dentro desse intervalo apenas nas doses

extremamente baixas tanto de potássio quanto de magnésio. Por outro lado, Manarin (2005), avaliando doses de fósforo e zinco em dois cortes do capim-Tanzânia, constatou que a concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas variou entre 6 e 19 mg kg⁻¹. Esses resultados evidenciam que possivelmente a concentração adequada de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas esteja nas proximidades do valor mais baixo da faixa referida por Werner et al. (1997) para as partes mais novas dos capins.

Figura 35 - Concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) coletadas no segundo corte do capim-Tanzânia, em função das doses de potássio na solução nutritiva

As concentrações dos quatro micronutrientes catiônicos nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia foram influenciadas pelas doses de potássio e/ou magnésio na solução nutritiva, na maioria dos casos estudados, evidenciando a existência de interferência dos dois macronutrientes em estudo nas concentrações dos micronutrientes nas folhas diagnósticas do capim. Cabe ressaltar a importância de estar atento às possíveis interferências do suprimento tanto de potássio como de magnésio na concentração dos micronutrientes catiônicos nas folhas diagnósticas da gramínea forrageira, que podem inclusive conduzir à deficiência desses micronutrientes, nos casos de adubação elevada com um deles ou com os dois desses macronutrientes.

Figura 36 - Concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas amostradas no segundo corte do capim-Tanzânia, em função das doses de magnésio na solução nutritiva

4.9 Concentração conjunta de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea

A interação entre doses de potássio e de magnésio foi significativa para concentração total (em $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$) de potássio, magnésio e cálcio na massa seca da parte aérea, tanto no primeiro como no segundo corte. Porém os valores de R^2 obtidos na regressão foram baixos, mostrando que o modelo polinomial utilizado não era o mais adequado para se avaliar estas respostas.

Segundo Mengel e Kirkby (2001), a soma total de cátions em uma planta ou em parte dela é pouco variável, mesmo quando ocorre variação no fornecimento individual de cátions, pois o aumento de um cátion no meio costuma deprimir a absorção de outro cátion, fenômeno este chamado de antagonismo. Os mesmos autores também relataram resultados com girassol (*Helianthus annuus*), onde a elevação de doses de magnésio resultou em redução nas concentrações dos cátions sódio e cálcio e incremento na de magnésio, com a soma total dos cátions mantendo-se aproximadamente constante.

Coutinho et al. (2004) também afirmaram que tem-se mantido constante a soma dos três cátions, expressos em $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ de tecido da planta, a qual representa o total de carga positiva absorvida. No presente experimento constatou-se que a concentração total dos três cátions (em $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$) variou de 966 a 1423 na parte aérea do primeiro corte e de 930 a 1661 no segundo corte, de acordo com as doses de potássio e magnésio fornecidas ao capim-Tanzânia.

A contribuição de potássio, magnésio e cálcio, em termos de $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$, na parte aérea do capim-Tanzânia, considerando-se as doses fornecidas de potássio e de magnésio na solução nutritiva foi estudada, para os resultados no material tanto do primeiro corte (Figura 37), como do segundo corte (Figura 38).

A contribuição porcentual de potássio na massa seca da parte aérea aumentou de acordo com as doses de potássio aplicadas, nos dois crescimentos do capim-Tanzânia. Quanto à contribuição de magnésio, observou-se que foi crescente com as doses de magnésio, dentro de cada dose de potássio, e decrescente em relação às doses de potássio. A participação do cálcio na concentração total na parte aérea teve maiores reduções quando se elevaram as doses de potássio na solução nutritiva.

Para as doses de potássio constatou-se, nos dois crescimentos da gramínea forrageira, efeitos nitidamente benéficos na emissão de perfilhos e de folhas, na área foliar total, na produção de massa seca da parte aérea e de raízes, que resultaram nas mais expressivas respostas quando as doses de potássio foram iguais ou superiores a $8,8 \text{ mmol L}^{-1}$ na solução nutritiva. Observa-se (Figuras 37 e 38) que, nessas condições de mais altas produtividades, as porcentagens de potássio no total dos três macronutrientes na massa seca da parte aérea oscilaram entre 53 % e 82 %. Portanto, acredita-se que para maximizar a produção do capim-Tanzânia, a proporção de potássio na massa seca da parte aérea deve estar dentro dessa faixa (especialmente entre 53 e 64 % para fornecimento combinado de potássio e magnésio) o que mostra novamente a elevada exigência em potássio pelo capim-Tanzânia. Quanto ao magnésio as maiores produções de massa seca da parte aérea e de raízes ocorreram com as doses próximas a 2 mmol L^{-1} na solução, o que correspondeu às porcentagens de magnésio no total dos três macronutrientes na massa seca da parte aérea de aproximadamente 19 a 22 %.

Figura 37 - Contribuição de potássio, magnésio e cálcio na concentração total desses três macronutrientes na parte aérea coletada no primeiro corte do capim-Tanzânia, em função das combinações de doses de potássio e de magnésio

Figura 38 - Contribuição de potássio, magnésio e cálcio na concentração total desses três macronutrientes na parte aérea coletada no segundo corte do capim-Tanzânia, em função das combinações de doses de potássio e de magnésio

4.10 Sintomas visuais

Os primeiros sintomas visuais de deficiência de potássio, durante o primeiro crescimento do capim-Tanzânia, foram observados aproximadamente 30 dias após o transplante das mudas nas plantas crescidas com a dose de potássio de $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ e posteriormente com a dose $3,2 \text{ mmol L}^{-1}$. As plantas com deficiência apresentaram clorose nas pontas e margens das folhas velhas e, com o passar dos dias, esses sintomas evoluíram, formando pontos necróticos e aumentando a área clorótica em direção à nervura principal. Pontos necróticos maiores, seca das margens e pontas das folhas, em formato de “V” invertido (como mostrados na Figura 39) puderam ser observados aos 40 dias após o transplantio.

Na mesma época do surgimento dos primeiros sintomas de deficiência de potássio também surgiram os primeiros sintomas visuais de deficiência de magnésio, nas plantas desenvolvidas com a dose de magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$. Nessa situação, as lâminas de folhas maduras apresentaram coloração verde pálida, evoluindo para clorose internerval com o decorrer do tempo (Figura 39). As plantas desenvolvidas nas unidades experimentais com a dose de potássio de $3,2 \text{ mmol L}^{-1}$ combinada com quaisquer doses de magnésio apresentaram sintomas visuais de deficiência de potássio nas lâminas de folhas maduras.

Aos 46 dias após transplantio das mudas, foi possível observar que nas combinações de doses de potássio $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ com magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$, as plantas apresentavam crescimento reduzido e sintomas bem severos de deficiências desses dois nutrientes. Também, apreciável parte das lâminas de folhas recém-expandidas apresentaram clorose na borda e pontas (deficiência de potássio), além de clorose internerval resultante da deficiência de magnésio.

Durante período de rebrotação foi possível notar que as plantas desenvolvidas nas combinações de doses de potássio de $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ e de magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$ apresentaram crescimento reduzido, quando comparados com as demais combinações de doses de potássio e magnésio, além de redução na emissão de perfilhos e na expansão das folhas (Figura 40). Folhas com clorose internerval, levemente enroladas e encarquilhadas eram sintomas também observados nessa combinação de doses de potássio e magnésio.

Aos 14 dias da rebrotação das plantas, as unidades experimentais com as combinações de doses de potássio de $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ e de magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$, respectivamente, apresentavam plantas com crescimento severamente reduzido, com lâmina foliar de pequeno

tamanho, além de folhas com tonalidades amareladas e encarquilhadas, com pontos necróticos ou quase totalmente necrosadas.

No dia do segundo corte das plantas foi possível notar sintomas de deficiência de potássio nas lâminas de folhas maduras (Figura 41), nas doses de potássio de 0,4 e 3,2 mmol L⁻¹ de potássio e de deficiência de magnésio (Figura 42) nas doses de magnésio de 0,05; 0,7 e 1,35 mmol L⁻¹.

A sintomatologia de deficiência de potássio descrita para o capim-Tanzânia nesse experimento assemelha-se à apresentada por França e Haag (1985) e Pereira (2001) para outros cultivares de *Panicum maximum*.

Os sintomas de deficiência de magnésio observados, com exceção ao encarquilhamento, foram também descritos por França e Haag (1985), Marschner (1995), Sarkis, Frare e Monteiro (1996) e Pereira (2001).

Ao final do segundo corte do capim-Tanzânia realizou-se a separação do sistema radicular e constatou-se que o suprimento de magnésio, assim como o de potássio, influenciaram demasiadamente o desenvolvimento do sistema radicular dessa gramínea forrageira (Figuras 43 e 44).

Figura 39 - Sintomas de deficiências de potássio (a) e de magnésio (b) nas lâminas de folhas maduras durante o primeiro crescimento do capim-Tanzânia

Figura 40 - Sintomas de deficiências de potássio e de magnésio (a) nas plantas desenvolvidas nas doses de potássio de $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ e de magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$ e plantas normais (b), durante o segundo crescimento do capim-Tanzânia.

Figura 41 - Sintomas de deficiência de potássio em lâminas de folhas maduras em diversos estádios de desenvolvimento do capim-Tanzânia.

Figura 42 - Sintomas de deficiência de magnésio em lâminas de folhas maduras em diversos estádios de desenvolvimento do capim-Tanzânia.

Figura 43 - Raízes do capim-Tanzânia desenvolvidas na combinação de doses de potássio de $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ e de magnésio de $2,65 \text{ mmol L}^{-1}$ (a) e na combinação de doses de potássio de $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ e de magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$ (b)

Figura 44 - Raízes do capim-Tanzânia desenvolvidas na combinação de doses de potássio de $11,6 \text{ mmol L}^{-1}$ e de magnésio de $1,35 \text{ mmol L}^{-1}$ (a) e na combinação de doses de potássio de $11,6 \text{ mmol L}^{-1}$ e de magnésio de $0,05 \text{ mmol L}^{-1}$ (b)

5 CONCLUSÕES

- ✓ As combinações de doses de potássio e de magnésio são determinantes para as concentrações de potássio e magnésio nas folhas diagnósticas, para a proporção de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea nos dois períodos de crescimento do capim, para comprimento e massa radicular e, somente no segundo crescimento do capim, para produção da parte aérea e para as concentrações de cálcio e de manganês nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia;
- ✓ De forma isolada, as doses de potássio alteram o número de perfilhos e de folhas, a área foliar e a concentração de zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas nos dois crescimentos da gramínea, enquanto influenciaram, no primeiro crescimento, a produção da parte aérea e as concentrações de cálcio, cobre, ferro e manganês nas folhas diagnósticas, além de promover alteração na superfície radicular do capim;
- ✓ As doses de magnésio, isoladamente, fazem variar o valor SPAD e a concentração de clorofila nos dois crescimentos do capim-Tanzânia, têm influência na superfície radicular e, no segundo crescimento, promovem alterações na área foliar e nas concentrações de cobre, ferro e zinco nas lâminas de folhas recém-expandidas do capim-Tanzânia;
- ✓ As máximas respostas do capim-Tanzânia são alcançadas com fornecimento de potássio na solução nutritiva entre 8,4 e 10,9 mmol L⁻¹ e o de magnésio entre 1,7 e 2,3 mmol L⁻¹, e com participação do potássio na faixa de 53 a 64 % e do magnésio ao redor de 20 % na concentração total de potássio, magnésio e cálcio na parte aérea das plantas.

REFERÊNCIAS

ABREU, J.B.R.; MONTEIRO, F.A. Produção e nutrição do capim-Marandu em função da adubação nitrogenada e estádios de crescimento. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 56, p.137-146, 1999.

ADJEI, M.B.; KALMBACHER, R.S.; RECHCIAL, J.E. Effect of P and K fertilizer on forage yield and nutritive value of Floralta limpograss. **Soil and Crop Society of Florida Proceedings**, Immokalee, v. 60, p. 9-14, 2001.

ALMEIDA, J.C.R. **Combinação de doses de fósforo e magnésio na produção e nutrição de duas braquiárias**. 1998. 81p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

ALMEIDA, J.C.R.; MONTEIRO, F.A. Inter-relação fósforo x magnésio em braquiárias: Produção de matéria seca e acúmulo de fósforo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., Caxambu, 1998. **Resumos...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1998. p. 256.

ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A. Produtividade e valor nutritivo do capim-Elefante cv. Napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.29, p. 1589-1595, 2000.

ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J.D.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 145-150, 2001.

ARONOVICH, S. O capim-colonião e outros cultivares de *Panicum maximum* (Jacq): Introdução e evolução do uso no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., 1995, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1995. p.1-20.

BENETTI, I.; MONTEIRO, F.A. Doses de potássio na produção e composição química do capim-Vencedor. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 7., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1999. p. 314.

BRAGA, J.M. Potássio. In: CURSO DE FERTILIDADE E MANEJO DO SOLO, 1996, Viçosa. **Fertilidade e manejo do solo**. Brasília: ABEAS, 1996. módulo.8. 62p.

BÜLL, L.T. **Influência da relação K/(Ca + Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageiras.** 1986. 107p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Informe anual** - 1983: programa de pastos tropicales. Cali, 1984. p.179-203: Suelos/ nutricion plantas.

CHAPMAN, D.F.; LAMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Palmerston North. **Proceedings...** Palmerston North: New Zealand Grassland Association, 1993. p. 95-104.

COELHO, F.S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo.** São Paulo: IEA, 1973. 384p.

CORRÊA, B.D. **Doses de nitrogênio e de magnésio afetando aspectos produtivos e bioquímicos dos capins Colômbio, Tanzânia-1 e Vencedor.** 1996. 76p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

COUTINHO, E.L.M.; SILVA, A.R. da.; MONTEIRO, F.A. Adubação potássica em forrageiras. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., 2004, Piracicaba, 2004. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2004. p. 219-277.

CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M.S.; JORGE, L.A.C. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 365-371, 1994.

DEJOU, J.; MONTARD, F.X. Efecto positivo que ejercen los abonados potássio y magnésio em suelos vulcânicos Del Maazo Central francês. Evaluación de K⁺ em el suelo y em la planta al final de cinco años de cultivo de ballico perene. **Revista de la Potassa**, Berna, v. 7, p. 1-10, 1982.

ELLIS JÚNIOR, R. Influence of soil, liming, magnesium, potassium, and nitrogen on magnesium composition of plants. In: RENDING V.V.; GRUNES, D.L. (Ed). **Grass tetany.** Madison: Australian Academic Science, 1979. p. 79-92.

EUCLIDES, V.P.B.; EUCLIDES FILHO, K. Avaliação de forrageiras sob pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE AVALIAÇÃO DE PASTAGENS COM ANIMAIS, 1., 1997, Maringá. **Anais...** Maringá: Cooper Artes Gráfica, 1997. p. 85-111.

FAQUIN, V.; FERRARI NETO, J.; EVANGELHISTA, A.R. Limitações nutricionais do colônio (*Panicum maximum* Jacq.) e da braquiária (*Brachiaria decumbens* Staff) em amostras de um latossolo do noroeste do Paraná: II Nutrição mineral em macro e micronutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 23, p. 552-565, 1994.

FAQUIN, V.; HOFFMANN, C.R.; EVANGELISTA, A.R. O potássio e o enxofre no crescimento de braquiária e do colônio em amostras de um Latossolo na região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 87-94, 1995.

FERRAGINE, M.del.C. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio na nutrição mineral de capim-braquiária**. 1998. 84p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FERRARI NETO, J. **Limitações nutricionais para o colônio (*Panicum maximum* Jacq.) e braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) em Latossolo da Região Noroeste do Estado do Paraná**. 1991. 126p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1991.

FITTER, A. Characteristics and functions of root systems. In WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.) **Plants roots: the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-20.

FONSECA, J.A.; MEURER, E.J. Antagonismo entre potássio e magnésio em plantas de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p. 1034-1035.

FRANÇA, A.F.S.; HAAG, H.P. Nutrição mineral de gramíneas tropicais. Carências nutricionais de capim-Tobiatã (*Panicum maximum* Jacq.). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 62, p. 38-95, 1985.

GUIMARÃES, G.F.P.B. **Avaliação de quatro forrageiras tropicais cultivadas em dois solos da ilha de Marajó-PA submetidos a crescentes saturações por bases**. 2000. 197p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

HERLING, V.R.; ZANETI, M.A.; GOMIDE, C.A. Influência de níveis de adubações nitrogenada e potássica e estádios de crescimento sobre o capim-Setária (*Setaria anceps* Stapf Ex. Massey cv. Kazungula). I- Produção de matéria seca e fisiologia de perfilhamento. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 20, p. 561-571, 1991.

JANK, L. Potencial do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, 1., 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1994. p. 25-31.

LAVRES JUNIOR, J. **Combinações de doses de nitrogênio e potássio para capim-Mombaça**. 2001. 103p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

LAVRES JUNIOR, J. MONTEIRO, F.A. Perfilhamento, área foliar e sistema radicular do capim-Mombaça submetido a combinações de doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 1068-1075, 2003.

LITTELL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. **Soil and Crop Society of Florida Proceedings**, Ona, v. 34. p. 94-97, 1975.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MANARIN, C.A.; MONTEIRO, F.A. Nitrogênio na produção e diagnose foliar do capim-Mombaça. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 59, p. 115-123, 2002.

MANARIN, S.A. **Combinações de doses de fósforo e de zinco em solução nutritiva para o capim-Tanzânia**. 2005. 68p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MATTOS, W.T. **Diagnose nutricional de potássio em duas espécies de braquiária**. 1997. 74p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

MATTOS, W.T.; MONTEIRO, F.A. Concentração de magnésio nas partes da *Brachiaria decumbens* submetida a doses de potássio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23., 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1998. p. 278.

MATTOS, W.T.; SANTOS, A.R.; ALMEIDA, A.A.S. Aspectos produtivos e diagnose nutricional do capim-Tanzânia submetido a doses de potássio. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 14, p. 37-44, 2002.

MAYLAND, H.F.; GRUNES, D.L. Soil-climate-plant relationships in the etiology of grass tetany. In: RENDING V.V.; GRUNES, D.L. (Ed.). **Grass tetany**. Madison: Australian Academic Science, 1979. p. 123-175.

MEIRI, A.; SILK, W.K.; LAUCHLI, A. Growth and deposition of inorganic nutrient in developing leaves of *Zea mays* L. **Plant Physiology**, New York, v. 99, p. 972-978, 1992.

MELLO, A.C.L. **Respostas morfológicas do capim-Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) irrigado à intensidade de desfolha sob lotação rotacionada**. 2002. 67p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5th ed. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MESA, A.R.; MENDOZA, F.; AVILA, V. Rendimiento, composición química y niveles críticos de potasio em cuatro gramíneas tropicales. **Pastos y Forrajes**, Matanzas, v. 12, p. 43-51, 1989.

MONTEIRO, F.A. Amostragem de solo e de planta para fins de análises químicas: Métodos e interpretação de resultados. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 22., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 151-179.

MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissão de macronutrientes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, p. 135-141, 1995.

MONTEIRO, F.A.; VENDEMIATTI, J.A.; SILVEIRA, C.P. Concentração de enxofre e relação N:S em folhas diagnósticas de capim-Tanzânia suprido com doses de nitrogênio e enxofre. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41. 2004. Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia/Unipress, 2004. CD-ROM. (Forragicultura, FOR197).

MORAES, A.; PALHANO, A.L. Fisiologia de produção de plantas forrageiras. In: WACHOWICZ, C.M; CARVALHI, R.I.N. (Ed.). **Fisiologia vegetal** - Produção e pós-colheita. Curitiba: Champagnat, p. 249-271, 2002.

NASCIMENTO, M.P.S.C.B.; RENVOIZE, S.A. **Gramíneas forrageiras naturais e cultivadas na região meio-norte**. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte; KEW: Royal Botanical Garden, 2001. 196p.

NOGUEIRA, A.; PAULA, M.B.D.; CARVALHO, J.G.D. Efeito de diferentes relações Ca:Mg do corretivo no crescimento de capim-Napier. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997. Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, P.P.A.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Liming and fertilization to restore degraded *Brachiaria decumbens* pastures grown on an entisol. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, p. 125-131, 2003.

PANT, H.K.; MISLEVY, P.; REHCIGL, J.E. Effects of phosphorus and potassium on forage value and quantity: environmental implications. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 1299-1305, 2004.

PEREIRA, W.L.M. **Doses de potássio e de magnésio em solução nutritiva para o capim-Mombaça**. 2001. 128p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PIERRE, W.H.; BOWER, C.A. Potassium absorption by plants as affected by cationic relationships. **Soil Science**, Baltimore, v. 55, p. 23-36, 1943.

PORRA, R.J.; THOMPSON, W.A.; KRIEDEMANN, P.E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls *a* and *b* extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimica et Biophysica Acta**, Canberra, v. 975, p. 384-394, 1989.

PREMAZZI, L.M. **Saturação por bases como critério para recomendação de calagem em cinco forrageiras tropicais**. 1991. 215p. Dissertação (Mestrado em Nutrição Animal e Pastagens) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343p.

ROSSIELO, R.O.P.; ARAÚJO, A.P.; MANZATTO, C.V. Comparação dos métodos fotoelétricos e da interação na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 633-638, 1995.

ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, p.1443-1448, 1984.

RODRIGUES, A.C.G.; ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento, absorção de K, Ca e Mg de forrageiras tropicais em função da adubação potássica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p. 1252-1254.

SABREEN, S.; SAIGA, S. Potassium level suitable for screening high magnesium containing grass seedlings under solution culture. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, p. 1015-1027, 2004.

SABREEN, S.; SAIGA, S.; SAITOH, M. Performance of high-Mg cultivars of three cool-season grasses in nutrient solution culture. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 28, p. 589-605, 2003.

SANTOS, A.R. **Diagnose nutricional e respostas do capim-Braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre**. 1997. 115p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

SANTOS, J.H.S. **Proporção de nitrato e amônio na nutrição e produção dos capins Aruana e Marandu**. 2003. 81p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SANTOS JUNIOR, J.D.G. **Dinâmica de crescimento e nutrição do capim-Marandu submetido a doses de nitrogênio**. 2001. 79p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SARKIS, F.; FRARE, P.M.; MONTEIRO, F.A. Distribuição da parte aérea da *Brachiaria brizantha* submetida a doses de magnésio em solução nutritiva. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 1996, Piracicaba. **Resumos...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. p. 444.

SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 1, p. 231-233, 1975.

SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 54p.

SAVIDAN, Y.H.; JANK, L.; COSTA, J.C.G. **Registro de 25 acessos selecionados de *Panicum maximum***, Campo Grande: EMBRAPA-CNPQC, 1990. 68p. (EMBRAPA-CNPQC, Documentos, 44).

SILVA, A. A ; MATTOS, W. T.; SANTOS, A R. Potássio e sódio em capim-Tanzânia-1 cultivado em solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CBCS, 1995. p. 284.

SKERMAN, P. J.; RIVEROS, F. **Gramíneas tropicais**. Roma: FAO, 1982. 849p. (Coleção FAO. Producción y Protección Vegetal, 23).

SOARES, E. **Influência da relação entre teores trocáveis de cálcio e magnésio do solo na absorção de potássio pelo centeio (*Secale cereale* L.)**. 1975. 73p. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1975.

SOARES, E. **Influência do teor de potássio trocável do solo na absorção de cálcio e magnésio pela soja (*Glycine max* (L) Merrill)**. 1978. 116p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

STATISTICAL ANALYSIS SISTEM. **SAS: user's guide statistics**: version 8.0 edition. Cary, 1999. 956p.

TEWARI, S.N.; SINHA, M.K.; MANDAL, S.C. Studies on the interrelationships among calcium, magnesium and potassium in plant nutrition. In: SYMPOSIUM ON SOIL FERTILITY AND EVALUATION, 1971, Honolulu. **Proceedings...** New Delhi : University of Hawaii, 1971. p. 317-325.

VANTINI, P.P. **Características morfofisiológicas do capim-Tanzânia em função de doses de nitrogênio e idades da planta.** 2002. 144p. Tese (Doutorado em Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita Filho” Jaboticabal, 2002.

VENTURA, C.A.O. **Níveis de potássio, cálcio e magnésio em solução nutritiva influenciando o crescimento e composição da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], cultivar Paraná.** 1987. p70. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

VICENTE-CHANDLER, J.; PEARSON, R. W.; ABRUÑA, F. Potassium fertilization of intensive managed grasses under humid tropical conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 54, p. 450-453, 1962.

VIEIRA, J.M. Qual a melhor forrageira? Características de adaptação agronômica de espécies e cultivares de forrageiras tropicais. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (Campo Grande, MS). **Curso de pastagens para sementeiros.** Campo Grande, 1993. p.5-12.

WERNER, J.C. **Adubação de pastagens.** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49p. (IZ. Boletim Técnico, 18).

WERNER, J.C.; HAAG, H.P. Estudos sobre a nutrição mineral de alguns capins tropicais. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 29, p. 191-245, 1972.

WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H. Forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, Fundação IAC, 1996. p. 263-273. (Boletim Técnico, 100).